D Secure

Satellitengestützte Kriseninformation für Deutschland

Abschlussbericht

September 2010

Konsortium

DLR

TU berlin

TUM Lehrstuhl für Methodik der Fernerkundung Remote Sensing Technology

D Secure

RapidEye

infoterra an EADS Astrium company

PRO DV

GAF AG

DEFINIENS

Projektlaufzeit Januar 2007 – April 2010

Autoren

Kürzel	Partner	Förderkennzeichen	Autoren
DLR DFD-KG	Zivile Kriseninformation und GeoRisiken (Koordination)	50EE0606	Dr. Monika Gähler, Felix Stracke; Jens Kersten
DLR DFD-BN	Nationales Bodensegment		Erik Borg, Bernd Fichtelmann
DLR DFD-BI	Internationales Bodensegment		Maximilian Schwinger
DLR DFD-WV	Wissenschafts-kommunikation und Visualisierung		Dr. Thorsten Andresen, Nils Sparwasser
DLR DFD-IT	Informationstechnik		Meinhard Wolfmüller
DLR DFD-LA	Landoberfläche		Andreas Schmitt, Anna Wendleder
DLR IMF-PB	Photogrammetrie und Bildanalyse		Dr. Danielle Hoja
DEF	Definiens AG	50EE0607	Christian Weise
		50EE0608	
ITD	Infoterra GmbH	50EE0609	Dr. Marc Müller, Virginia Herrera-Cruz, Nadine Kiefl, Jürgen Janoth, Marek Tinz
PRO DV	PRO DV Software Engineering GmbH	50EE0610	Udo Quadt
RE	RapidEye AG	50EE0611	Dr. Peter Löwe
TUB	Computer Vision & Remote Sensing	50EE0612	Andreas Friedrich
TUM LMF	TU München, Methodik der Fernerkundung	50EE0613	Dr. Matthias Butenuth, Daniel Frey

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

TEIL A: Öffentlicher Schlussbericht

I. KURZDARSTELLUNG **1**

II. ERGEBNISSE **4**

1 Nutzerbasis und -anforderungen sowie Szenarien für den Daten- und Administrationszyklus im nationalen, internationalen Krisenfall **4**

1.1 NUTZERBASIS UND -ANFORDERUNGEN **4**

1.2 SZENARIEN FÜR DEN DATEN- UND ADMINISTRATIONSZYKLUS IM NATIONALEN, INTERNATIONALEN KRISENFALL **5**

2 Zeitnahe Satellitendatenbeschaffung und Datenhandhabung **9**

2.1 PROZESSE DER ZEITNAHEN SATELLITENDATENBESCHAFFUNG UND HANDHABUNG IN DER MISSION RAPIDEYE **10**

2.2 PROZESSE DER ZEITNAHEN SATELLITENDATENBESCHAFFUNG UND HANDHABUNG IN DER MISSION TERRASAR-X **10**

3 Optimierte Vorverarbeitung von Satellitendaten **12**

3.1 OPTIMIERTE GEOMETRISCHE VORVERARBEITUNG **12**
3.1.1 Optimierte Orthorektifizierung optischer Satellitendaten 12
3.1.2 Optimierte Orthorektifizierung von SAR-Satellitendaten 13
3.1.3 Matching von optischen und SAR-Satellitendaten 15

3.2 PHYSIKALISCH-BASIERTE METHODE ZUR RÄUMLICHEN VERBESSERUNG MULTISPEKTRALER SATELLITENDATEN **17**

4 Krisenrelevante Informationsextraktion **20**

4.1 SEMI-AUTOMATISCHE VERÄNDERUNGSDETEKTION MITTELS BILDOBJEKTERFASSUNG **21**
4.1.1 Automatisierte Änderungserkennung anhand von Radarbildern 21
4.1.2 Operative Kartierung von Hochwasserereignissen mit TerraSAR-X-Daten 23
4.1.3 Kartierung von Veränderungen der Erdoberfläche durch Erdbeben und Überschwemmungen anhand von RapidEye Satellitenbilddaten 27

4.2 AUTOMATISIERTE UND INTERPRETENGESTÜTZTE AUSWERTEVERFAHREN MIT DEM SCHWERPUNKT DER SCHADENSDETEKTION **28**
4.2.1 Schnelle und Interpretengestützte Klassifikation optischer Satellitenbilder 28
4.2.2 Objektdetektion mit Hilfe automatisch generierter Objektmodelle 30

4.3 SEMI-AUTOMATISCHE LINEAMENTEXTRAKTION UND NETZBILDUNG MIT DEM SCHWERPUNKT DER STRAßENEXTRAKTION **33**

5 Standardisierte und Optimierte Bereitstellung von satellitengestützten Kriseninformationsprodukten 37

5.1 STANDARDISIERUNG DER BEREITSTELLUNG VON KRISENINFORMATIONEN IN KARTEN 37

5.2 OPTIMIERUNG UND WEITERENTWICKLUNG DER DIGITALEN BEREITSTELLUNG 40
5.2.1 Interaktive Geovisualisierung – „3D rapid mapping“ 40
5.2.2 Interaktive Kartenanwendung und Direktzugriff auf Daten 42

5.3 VERBESSERUNG DER AUFFINDBARKEIT DER KRISENINFORMATION 45

5.4 ERSTELLUNG VON SATELLITEN-REFERENZDATENSÄTZEN FÜR DIE BRD 47
5.4.1 RapidEye Deutschlandmosaik 47
5.4.2 IRS-P6 Deutschlandmosaik 48

III. FAZIT & AUSBLICK 49

IV. VERÖFFENTLICHUNGEN IM KONTEXT DESECURE 51

ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Karte einer DLR-ZKI Notfallkartierung der Oderflut im Juni 2010 2

Abbildung 2: Arbeitsablauf im Notfallkartierungskontext 3

Abbildung 3: DeSecure Konsortium 3

Abbildung 4: ZKI-Karte im Rahmen der Charter - aus TS-X-Daten abgeleitete Hochwassermaske auf TS-X-Bild 6

Abbildung 5: Karte der Überflutungstiefe. 7

Abbildung 6: Prozesse in der Krisenkartierung 9

Abbildung 7: Funktionsweise Orthorektifizierung, Beispiel Flugzeuggetragene Aufnahme von Oberpfaffenhofen (links) und orthorektifiziertes Bild (rechts). Bei der Orthorektifizierung werden Verzerrungen durch die Bewegung des Flugzeuges und verschiedene Geländehöhen entfernt, dies wird vor allem an der „begradigten“ Landebahn und den nach der Entzerrung unregelmäßigen Bildrändern sichtbar. 12

Abbildung 8: Messung der Lagegenauigkeit orthorektifizierter TerraSAR-X Szenen am Beispiel Schwarzwald (Spotlight, 2.06.2008) 14

Abbildung 9: Überlagerung von Daten der Satelliten Spot-5 (vom 12.11.2007, in rot) und RapidEye (vom 8.4.2009 in cyan) links vor und rechts nach der Co-Registrierung (Matching) der Datensätze 16

Abbildung 10: Dokumentation der iterativen Qualitätsverbesserung der geometrischen und spektralen Auflösung am Beispiel einer IKONOS-Szene München. Originaldatensatz der geometrischen Auflösung 4 m x 4 m (oben). Auf 1 m x 1 m geometrisch aufgelöster Multispektraldatensatz nach 0. Näherung (mitte). Auf 1 m x 1 m geometrisch aufgelöster Multispektraldatensatz nach 7. Näherung (unten). 18

Abbildung 11: TerraSAR-X-Aufnahme des Vulkans 20.03.10 21

Abbildung 12: TerraSAR-X-Aufnahme des Vulkans 22.04.10 21

Abbildung 13: TerraSAR-X-Aufnahme des Vulkans 14.05.10 21

Abbildung 14: Farbkomposit der drei TerraSAR-X-Aufnahmen des Vulkans 22

Abbildung 15: Änderungen der Rückstreuung vom 20.03 zum 22.04. 22

Abbildung 16: Änderungen der Rückstreuung vom 20.03 zum 14.05. 22

Abbildung 17: Arbeitsablauf Hochwasserkartierung 24

Abbildung 18: Benutzeroberfläche (GUI) 24

Abbildung 19: TerraSAR-X-Aufnahme Star City, Mississippi-Fluss, USA (links); halbautomatisierte, bi-temporale Kartierung permanenter Gewässerflächen auf der Basis von Landsat 7-Daten (Mitte); halbautomatisierte, bi-temporale Kartierung der überschwemmten Flächen (dunkelblau; Datengrundlage: TerraSAR-X), abgegrenzt gegenüber den permanenten Wasserflächen (türkis; rechts) 25

Abbildung 20: TerraSAR-X Aufnahme Gulf Country, Australien 25

Abbildung 21: TerraSAR-X-basierte manuelle Hochwasserkartierung (links) und TerraSAR-X-basierte halbautomatisierte Hochwasserkartierung (rechts) 26

Abbildung 22: Verteilung des Testgebieten TerraSAR-X-basierter Hochwasserkartierungen 26

Abbildung 23: Anwendung der RapidEye Veränderungskartierung. Erdbeben/Tsunami in Chile anhand Aufnahmen vom 22.01. und 27.02.2010. Orange: Veränderungsflächen die von Überschwemmungen und Erdbebeneffekten/ Rutschungen beeinflusst wurden. Darstellung in GoogleEarth 27

Abbildung 24: Schematischer Ablauf der Bildprozessierung 28

Abbildung 25: Beispiel Bildprozessierung. 29

Abbildung 26: Schematische Darstellung der Modellgenerierung sowie der Anwendung 31

Abbildung 27: Abgeleitete Klassenwahrscheinlichkeiten und Extraktionsergebnisse für verschiedene Objektmodelle 32

Abbildung 28: Semantisches Modell für die Straßenextraktion 33

Abbildung 29: Schematische Darstellung des Systems zur Schadensbewertung 34

Abbildung 30: Verfügbare Straßendaten für das Testgebiet Namibia; rot: Manuell erstellte Referenz; grün: OpenStreetMap; blau: Datenbestand von öffentlichen Trägern 35

Abbildung 31: Ergebnis des Klassifikationssystems: rot: überflutete Straßen; grün: befahrbare Straßen; gelb: vielleicht befahrbare Straßen; blau: Straßen, die zum Zeitpunkt t1 befahrbar und zum Zeitpunkt t2 überflutet waren 35

Abbildung 32: Prinzip der Zusammenstellung eines taktischen Zeichens am Beispiel Löschzug 37

Abbildung 33: In das GIS ArcMap integrierte taktische Symbole der nationalen Akteure 38

Abbildung 34: Die Darstellung der Symbole erfordert eine Abspeicherung der benötigten Information. Dies kann auf verschiedene Art- und Weise erfolgen: Der einfachste Weg ist die Abspeicherung einfacher Geometrien, denen keine weitere Information anheftet. Diesen Geometrien kann dann ein entsprechendes Symbol zugewiesen werden. 39

Abbildung 35: Die vier Bewertungsdimensionen 41

Abbildung 36 Prinzip der Datenbereitstellung über Services und der Veröffentlichung nutzerspezifisch konfigurierter Webanwendungen 44

Abbildung 37: Screenshot des DeSecure Webclients für die Flut in Namibia, Caprivi Region 2009 (Ergebnisse des gemeinsamen Datenszenarios DeSecure). 44

Abbildung 38: Screenshot des DeSecure Webclients für die Deutschlandmosaike 45

Abbildung 39: Metadatensuchmaschine des GeoPortal.Bund 46

Abbildung 40: Screenshot des RapidEye Deutschlandmosaikes 47

Abbildung 41: Screenshot des IRS-P6 Deutschlandmosaikes 48

TABELLEN

Tabelle 1: Ergebnis und Evaluierung des Gesamtsystems (Beispieldatensatz Namibia) 36

TEIL A: Öffentlicher Schlussbericht

I. KURZDARSTELLUNG

Mit der weltweiten Zunahme von Naturkatastrophen, humanitären Notsituationen und zivilen Gefahrenlagen steigt auch der Bedarf an zeitnaher, präziser und flächendeckender Lageinformation. DeSecure war ein Verbundprojekt mit dem Ziel der Verbesserung der Verfügbarkeit satellitengestützter Kriseninformation in Deutschland und geht einher mit dem Ausbau der GMES Aktivitäten auf europäischer Ebene. Der gesamte relevante Produktionszyklus von satellitengestützter Information (Satellitendatenempfang, Prozessierung, Informationsextraktion und -bereitstellung) wurde im Rahmen des Projektes DeSecure analysiert und an entscheidenden Stellen verbessert. Die erreichten Verbesserungen in den Bereichen Datenempfang und Vorverarbeitung der Satellitenbilddaten, der Optimierung der Schnittstellen zwischen den einzelnen Akteuren, der Datenauswertung sowie der Dissemination der Daten über interaktive Kartenanwendungen werden exemplarisch dargestellt.

Krisenlageinformationen mit Hilfe von Satellitendaten

Weltweit treten verschiedenste Arten von Naturkatastrophen und vom Menschen verursachte Krisen auf. In Krisen liegen die Herausforderungen insbesondere in der schnellen Bereitstellung der relevanten Information und im Zusammenwirken aller Beteiligten. Somit steigt mit der weltweiten Zunahme von Naturkatastrophen sowie humanitären Notsituationen und zivilen Gefahrenlagen auch der Bedarf an zeitnaher, präziser und flächendeckender Lageinformation.

Diese aktuellen und umfassenden Informationen können inzwischen zum großen Teil durch Analyse von satellitengestützten Fernerkundungsdaten bereitgestellt werden und wertvolle Informationen im Bereich der Naturkatastrophen-Vorsorge, -Frühwarnung und -Ausbreitung sowie auch zur Schadensabschätzung nach Katastrophen, zur schnellen Übersicht akuter Ereignisse und zum Beobachten von Wiederaufbaumaßnahmen liefern.

Darüber hinaus sind Strukturen und Kapazitäten notwendig, die eine schnelle Aufnahme und verlässliche Aufbereitung der Satellitendaten ermöglichen. Vor diesem Hintergrund hat das DLR das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) als Service des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) eingerichtet. Seine Aufgabe ist die schnelle Beschaffung, Aufbereitung und Analyse von Satellitendaten bei Natur- und Umweltkatastrophen, für humanitäre Hilfsaktivitäten und für die zivile Sicherheit sowie die Bereitstellung der extrahierten Krisenlageinformation in aufbereiteten Produkten (vgl. Abbildung 1). Die bei den Analysen verwendeten Daten, werden über verschiedene Mechanismen bereitgestellt, z.B. die "International Charter on Space and Major Disasters" oder über den Auf- bzw. Ausbau der GMES (Global Monitoring for Environment and Security)- Aktivitäten auf europäischer Ebene.

GMES (Global Monitoring for Environment and Security)

Die Entwicklung des ZKI auf deutscher Seite ging einher mit dem Ausbau der GMES (Global Monitoring for Environment and Security)- Aktivitäten auf europäischer Ebene. Um das enorme Potential der Erdbeobachtung auch zur Unterstützung politischer Entscheidungsträger und Behörden auf europäischer, nationaler, regionaler und lokaler Ebene optimal nutzen zu können, wurde diese gemeinsame Initiative für globale Umwelt- und Sicherheitsbeobachtung (GMES) der Europäischen Kommission und der europäischen Raumfahrtagentur ESA ins Leben gerufen. Nach dem Aufbau der GMES-Kapazitäten bis zum Anfang 2012 sollen die GMES Dienste in den operationellen Betrieb sowie eine evolutionäre Weiterentwicklung übergeführt werden. Dies wird zunächst durch GMES Kerndienste für Land, Ozean und Notfallkartierung geschehen.

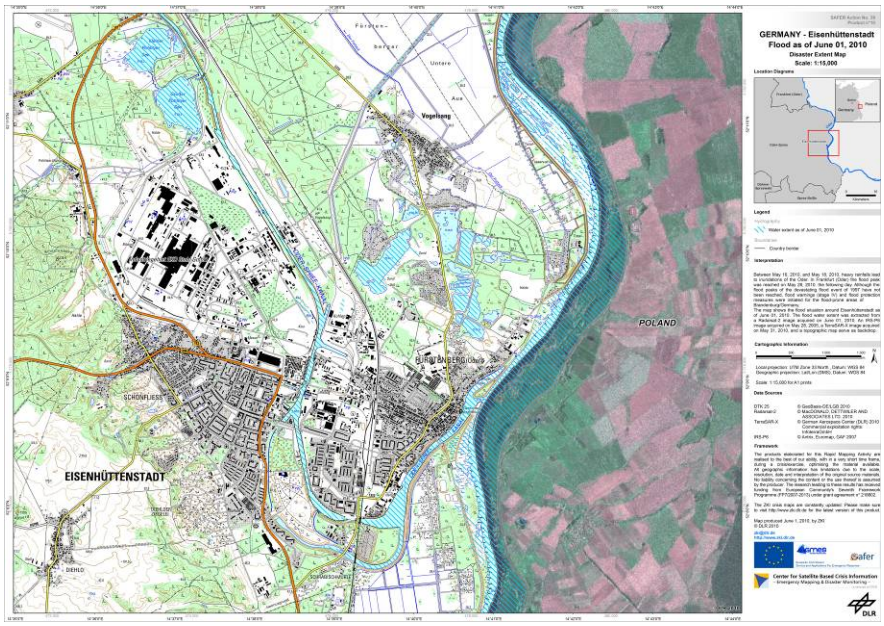

Abbildung 1: Karte einer DLR-ZKI Notfallkartierung der Oderflut im Juni 2010

Um die europäischen GMES-Aktivitäten und nationale Kapazitäten in der Informationserzeugung und -bereitstellung besser koppeln zu können, wurden die nationalen Projekte DeCOVER, DeMARINE und DeSecure initiiert. Die Projekte werden über das DLR Raumfahrtmanagement aus dem nationalen Raumfahrtprogramm gefördert.

Übergeordnete Ziele und Partner des Verbundprojektes

Insbesondere sollte durch DESECURE (Laufzeit: Januar 2007 – April 2010) eine schnellere Bereitstellung höherwertiger Produkte an die Nutzer erzielt werden. Hierfür wurden neben einer Nutzeranalyse der gesamte Produktionszyklus – von der Satellitenprogrammierung, dem Empfang und der Datenvorverarbeitung bis hin zur Analyse und Produkterstellung sowie -auslieferung (vgl. Abbildung 2) analysiert und an entscheidenden Stellen verbessert. Ein weiteres Ziel lag in der Stärkung der in Deutschland verfügbaren methodisch-technischen Notfallkartierungskapazitäten und Konsolidierung der starken deutschen Position auf europäischer Ebene durch u.a.

1. Prozessoptimierung in existierenden Einrichtungen (‚ZKI' - Service des DFD);
2. Ausdehnung und Einrichtung von Kapazitäten in Partner-Institutionen;
3. Weiterentwicklung von Analysemethoden innerhalb des Konsortiums;
4. Optimierung der Schnittstellen zwischen den Partnern aus Forschung & Industrie.

Ein Schwerpunkt von DeSecure war es demnach auch, die deutschen Anforderungen, Bedürfnisse sowie Kapazitäten für den Bereich der satellitengestützten Krisenlageinformation zu identifizieren, zu definieren sowie weiterzuentwickeln und so die deutschen Interessen gebündelt in die GMES – Aktivitäten auf europäischer Ebene einfließen zu lassen. Dabei stand zum Einen die Integration der deutschen Sensoren TerraSar-X und RapidEye in Krisenkartierungen im Fokus. Hierdurch sollten diese Sensoren den deutschen und europäischen Nutzern besser bekannt gemacht werden. Zum Anderen wurden durch Universitäten und Industriepartner technisch operative Analysemethoden geschaffen, die u.a. die Anwendungsentwicklung sowie Vermarktung der Daten und Informationsprodukte, auch über den Krisensektor hinaus, stärken. Die wichtigsten Weiterentwicklungen aus DeSecure werden in den folgenden Kapiteln zusammenfassend dargestellt.

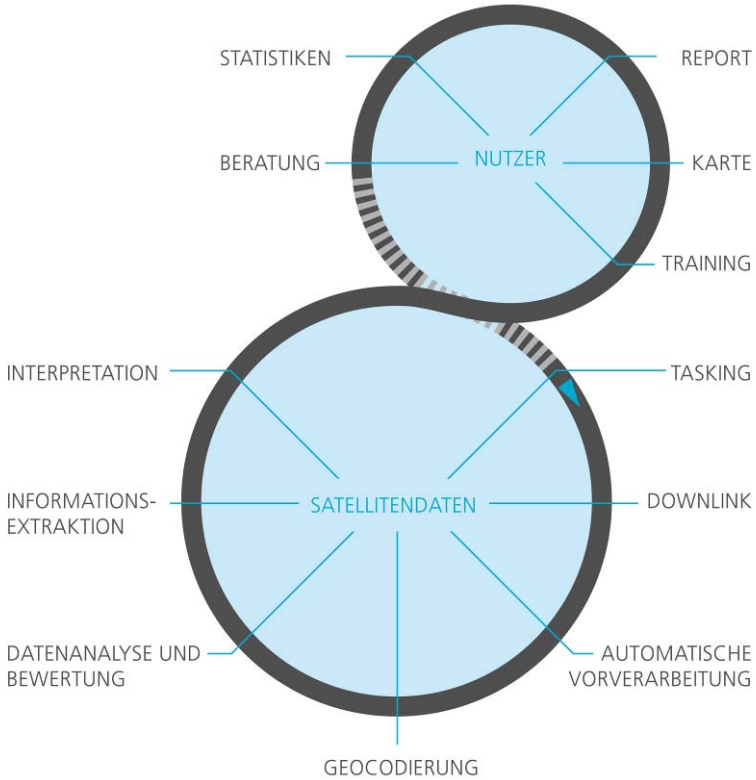

Abbildung 2: Arbeitsablauf im Notfallkartierungskontext

Neben dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum waren das Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR sowie die Industriepartner Definiens AG, GAF AG, Infoterra GmbH, PRO DV AG und RapidEye AG sowie die Technischen Universitäten Berlin und München beteiligt.

Abbildung 3: DeSecure Konsortium

II. ERGEBNISSE

1 Nutzerbasis und -anforderungen sowie Szenarien für den Daten- und Administrationszyklus im nationalen, internationalen Krisenfall

1.1 Nutzerbasis und -anforderungen

In DESECURE wurden auf bundesdeutscher Ebene die wichtigsten Akteure im Kontext Zivilschutz und ziviler Sicherheit sowie Humanitärer Hilfe sowie deren jeweilige Betätigungsfelder und Arbeitsweisen erfasst. Diese Informationen über (potentielle) Nutzer im Kontext satellitengestützter Kriseninformation sind für das Verständnis der speziellen Anforderungen an Kriseninformationsprodukte unabdingbar. Die Nutzeranalyse fokussierte dabei insbesondere auf übergeordnete Institutionen, die auf Bundesebene bzw. europäischer Ebene aktiv sind und eng mit den jeweiligen Institutionen der Länder zusammenarbeiten und entsprechende Informationen weitergeben (z.B. Gemeinsames Melde- und Lagezentrum (GMLZ) des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) sowie das Monitoring and Information Centre der Europäischen Kommission (MIC)). Die Anforderungsanalyse basierte einerseits auf Anfragen der letzten Jahre an die Projektpartner und andererseits auf bilaterale Gespräche mit den Nutzern während der Projektlaufzeit.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass DeSecure sich primär mit für Deutschland relevanten Fragestellungen befasste, aber deutsche Nutzer auch bei internationalen Aktivitäten (z.B. Krisenreaktionszentrum des Auswärtigen Amtes, Technisches Hilfswerk (THW), Deutsches Rotes Kreuz (DRK)) unterstützt werden. Des Weiteren wurden (mögliche) Anforderungen von privaten Bedarfträgern betrachtet. Aus diesen Informationen konnten allgemeine Anforderungen an die Genauigkeit, die Aktualität und zeitliche Bereitstellung, die Objektivität sowie Anforderungen an Datenformate und Standardisierung der bereitgestellten Produkte für die Verbesserung satellitengestützter Kriseninformation abgeleitet werden.

Als Herausforderung erwies sich bei der Analyse, dass die identifizierten Nutzer einen sehr unterschiedlichen Kenntnisstand bezüglich satellitengestützter Kriseninformation innehaben. Hieraus wurde zum Einen die Schlussfolgerung gezogen, dass die Notwendigkeit besteht, verstärkt über diese Art der Krisenlageinformation zu informieren. Zum Anderen wurde resümiert, dass einige Nutzer (noch) nicht in der Lage waren, spezifische Anforderungen an satellitengestützte Kriseninformation zu formulieren, da das Potential von aktuellen Satelliteninformationen noch nicht bekannt genug war. Hingegen formulierten diejenigen Nutzer, die bereits Erfahrungen mit dieser Art der Information besaßen, zum Teil unterschiedliche Ansprüche.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Anforderungen der privaten und öffentlichen Bedarfsträger viele Gemeinsamkeiten aufweisen, insbesondere bzgl. der Anwendungsfelder und der Datenakquisition (Erfassungszeitraum, geogr. Ausdehnung, Sensortyp und Sensoreinstellungen), so dass eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen privaten und öffentlichen Nutzern voraussichtlich deutliche Synergien hervorrufen kann. Unterschiede sind bei den Nutzergruppen sowie den benötigten Auswertezeitpunkte zu verzeichnen:

- Für die **Nutzer öffentlicher Bedarfsträger** ist vor allem die *zeitnahe Bereitstellung* der gewünschten Information von grundlegender Bedeutung. Übersichtskarten von dem Einsatzgebiet (Referenzkarten) werden vom Nutzer nach Möglichkeit ca. 6 Stunden nach der Anfrage benötigt. Erste Schadensinformationen sollten - je nach Entfernung des Einsatzgebietes - nach ca. 24 bis 36 Stunden zur Verfügung stehen. Selbst wenn eine Lieferung der Informationen in Echtzeit auch mittelfristig nicht erreicht werden kann, ist es von außerordentlicher Bedeutung Liefertermine möglichst präzise zu kommunizieren, damit die Informationen im Arbeitsfluss der Nutzer (z.B. Vorbereitung von Briefings) berücksichtigt werden können.
- **Nutzer privater Bedarfsträger** benötigen ebenfalls Schadensinformation, die *zeitnah erfasst*, jedoch *nicht unbedingt zeitnah ausgewertet* werden muss. Die Anforderun-

gen an die Genauigkeit (Lagegenauigkeit, inhaltliche/thematische Genauigkeit) ist vom jeweiligen Einsatzziel abhängig.

Die Anforderungen der Nutzer an das Kartenmaterial sind ebenfalls sehr heterogen. Nahezu jeder der berücksichtigten Nutzer hat spezifische Anforderungen an die Kartengestaltung, gültige -maßstäbe und -signaturen. Daher sollten die gelieferten Daten eine gewisse Generizität besitzen und gegebenenfalls mit eigenen Daten verschnitten werden können. Zudem sollte eine individuelle, auf den Nutzer zugeschnittene Visualisierung möglich sein. Die Auslieferung und die Datenformate müssen sich deshalb an internationalen Standards orientieren. Es ist naheliegend sich dabei auf die Standards zu stützten, die durch die Europäische Kommission in der INSPIRE Richtlinie definiert werden. Des Weiteren ist eine Beschreibung der ausgelierten Daten durch Metadaten unverzichtbar. Diese liefern dem Nutzer standardkonform alle benötigten Informationen für eine korrekte Interpretation der Daten.

Die gesammelte Nutzerbasis bzw. die Nutzeranforderungen wurden allen Projektpartnern zur Verfügung gestellt und waren eine wichtige Ausgangsbasis für die weitere Entwicklung der DeSecure Arbeiten.

1.2 Szenarien für den Daten- und Administrationszyklus im nationalen, internationalen Krisenfall

Ein Ziel von DeSecure war es Szenarien auszuarbeiten, wie Daten dem ZKI im Krisenfall zielgerichtet und schnell zur Verfügung gestellt werden können; insbesondere Daten der beiden Sensoren TerraSAR-X und RapidEye. Hierfür erfolgte zunächst eine Erläuterung der bisherigen Mechanismen für die Bereitstellung von Satellitendaten wie der International Charter ‚Space and Major Disasters', GSC-DA (GMES Space Component – Data Access), sonstige Projektfinanzierung sowie bilaterale Absprachen mit Satellitendatenanbietern. Darauf aufbauend wurden zur Verbesserung der operativen Bereitstellung von Krisenlageinformationen Vereinbarungen für einen Einsatz der Sensoren TerraSAR-X und RapidEye im Krisenfall erarbeitet bzw. angedacht sowie verbesserte Standards bei der Bereitstellung der Endprodukte definiert.

Nutzung der TerraSAR-X-Daten

Zu TerraSAR-X ist eine Vereinbarung erarbeitet worden, gemäß derer das ZKI die Nutzung von TerraSAR-X-Daten für Fälle der internationalen „Charter on Space and Major Disasters" wie auch für den Notfallbedarf nationaler Bundes- und Landeseinrichtungen und nationaler gemeinnützige Hilfsorganisationen im Rahmen von Einsatzunterstützung im Katastrophen- und Krisenfall ermöglicht ist. Die Aufgabe der Datenverarbeitung und -verbreitung obliegt dann dem ZKI. Um eine möglichst gute Aufnahmeplanung zu erreichen und Konflikte zu vermeiden, stimmen sich dabei ZKI und Infoterra im Einzelfall in der Umsetzung eng ab. Diese Vereinbarung hat bereits vielfach Anwendung gefunden.

Die unter diesen Rahmenbedingungen erhobenen TerraSAR-X-Daten werden zeitgleich der Infoterra GmbH zur eventuellen Nutzung für kommerzielle Kunden zur Verfügung gestellt. Aufgaben, die außerhalb des Einsatzes im direkten Katastrophenfall liegen, wie die Planung zur Verringerung von Gefährdungen oder Vorbereitung auf zukünftige Katastrophen, fallen nicht unter diese o. g. Regelung. In der Regel erfolgt in der Praxis eine enge Abstimmung zwischen DLR und Infoterra auf Arbeitsebene, um auch bereits im Vorfeld einer sich abzeichnenden Katastrophe zielführend und effektiv das Krisenmanagement zu unterstützen.

Des Weiteren erfolgt der Zugang des ZKI zu TerraSAR-X-Daten über die GMES-Projekte bzw. über ESA's GSC-DA (GMES Space Component – Data Access). Darüber hinaus ist ein Charter-Beitritt geplant.

Nutzung der RapidEye-Daten

Bezüglich der RapidEye-Daten haben verschiedene bilaterale Gespräche zwischen dem DFD-ZKI und der RapidEye AG stattgefunden. Seitens RapidEye wurde ein Rahmenvertrag vorgeschlagen, welcher gegen ein Entgelt eine gewisse Menge an Datenabnahmen garan-

tiert und worin Spezifikationen zur Datenqualität, zu Lieferzeiträumen, zum Satellitentasking, zu Preisen, zur Verfügbarkeit des Kundenservices etc. definiert sind. Eine kostenpflichtige Datenabnahme kann seitens des ZKI für nationale oder internationale Krisenfälle derzeitig nicht wahrgenommen werden. Der Zugang des ZKI an RapidEye-Daten erfolgt somit zurzeit über die GMES-Projekte bzw. über ESA's GSC-DA (GMES Space Component – Data Access). Darüber hinaus ist ein RapidEye Charter-Beitritt derzeit nicht geplant.

Bezüglich der Standards der Bereitstellung sind durch technischen und rechtlichen Vorraussetzungen (Geodateninfrastruktur) ein interoperables Auffinden und Austauschen von Geodaten gegeben. Insbesondere die direkte und automatisierte Nutzung von Katalog- und Geodatendiensten ermöglicht eine effiziente Unterstützung bei der Kartierung. Geo(basis)-daten müssen nicht mehr aufwändig auf dem lokalen System gepflegt, sondern können beim Hersteller in aktueller Version aufgefunden und eingebunden werden.

Synergetische Nutzung der Daten für öffentliche und private Bedarsträger

Es existieren einige Beispiele für die synergetische Möglichkeit von Satellitenaufnahmen für Kriseninformationsprodukte für beide Nutzertypen. So konnte bereits frühzeitig im Projekt auf Grundlage eines realen Fallbeispiels, der Flut in Großbritannien im Juni/Juli 2007, die Erfahrung gemacht werden, dass bei einer frühzeitigen Absprache der beteiligten Akteure sowie einer frühzeitigen Aufnahme die Doppelnutzung möglich und sehr erfolgreich sein kann (vgl. folgende Abbildungen). Hierdurch können Kosten und Arbeitsaufwand reduziert werden.

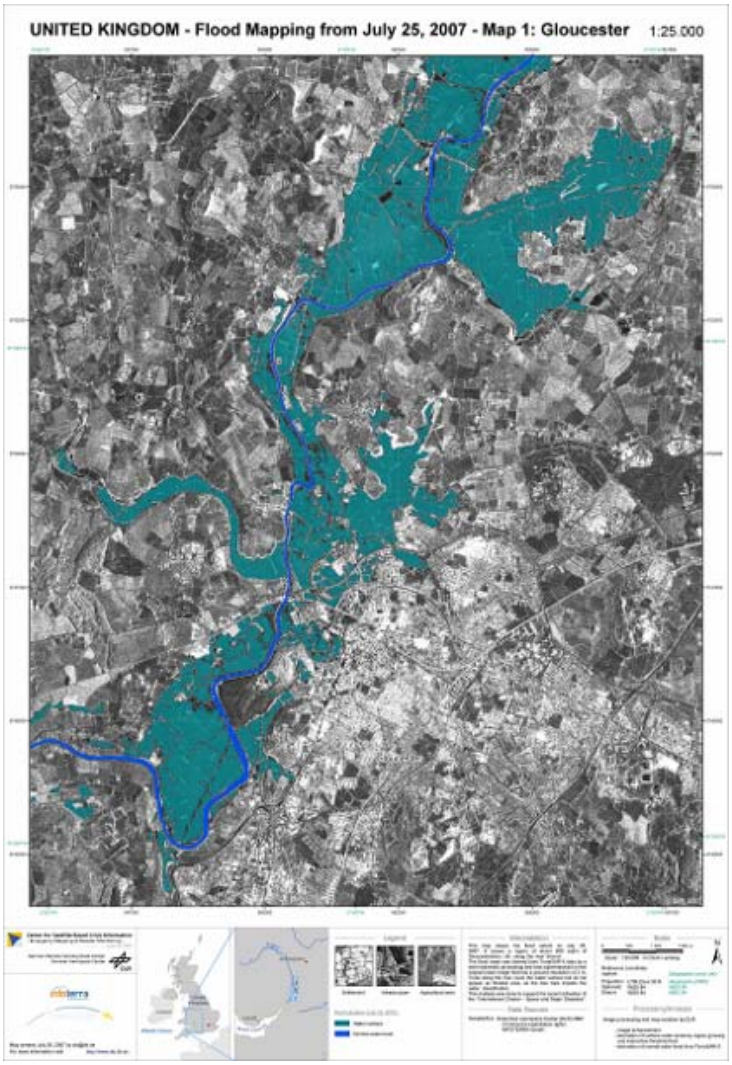

Abbildung 4: ZKI-Karte im Rahmen der Charter - aus TS-X-Daten abgeleitete Hochwassermaske auf TS-X-Bild

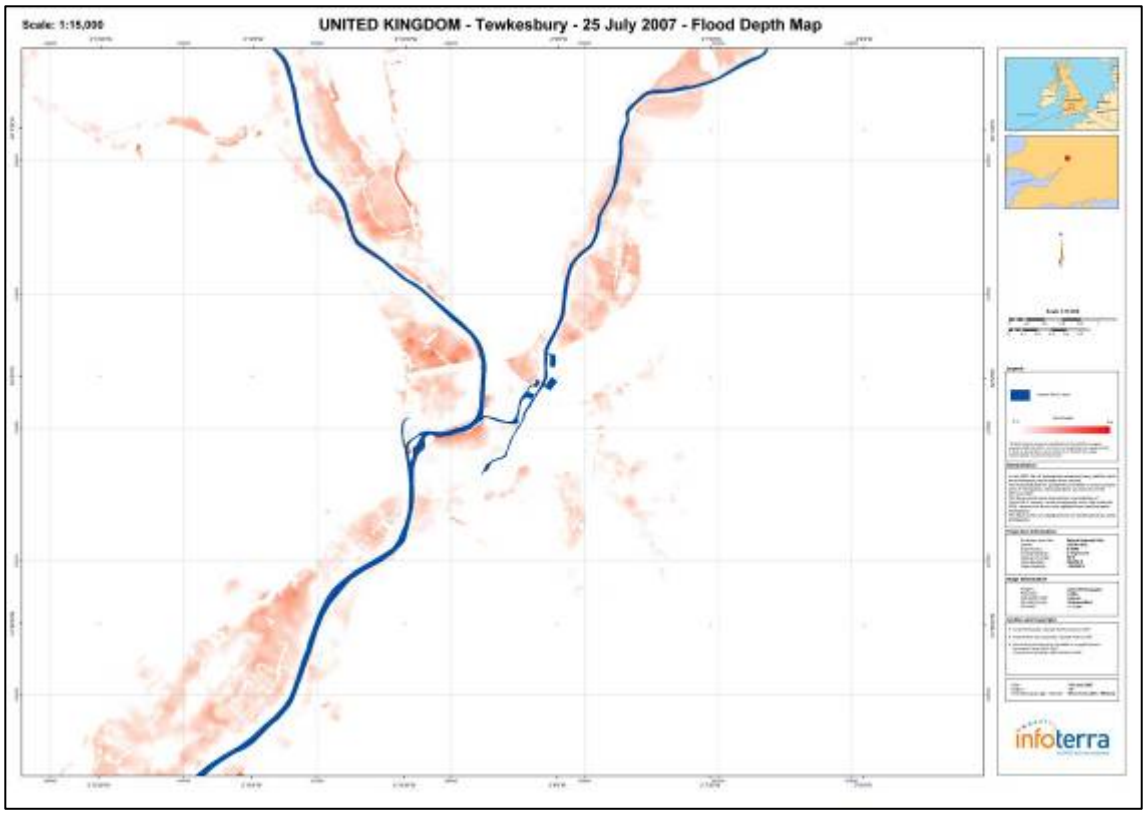

Abbildung 5: Karte der Überflutungstiefe.

Die Unterschiede ergeben sich durch den ggf. unterschiedlichen Detaillierungsgrad der Auswertungen, aber insbesondere durch die verschiedenen Auswertezeitpunkte. Im privaten Nutzersektor besteht im Gegensatz zu den privaten Bedarfsträgern üblicher Weise keine Anforderung die Auswerteergebnisse bzw. Produkte innerhalb von Stunden nach Datenempfang zu erhalten. Hieraus begründet sich auch die Möglichkeit die Satellitendaten mit weiteren z.B. lokal vorliegenden Zusatzdaten wie hochgenauen Digitalen Höhenmodellen zu veredeln, so dass ein höherer Detaillierungsgrad erreicht werden kann. Allerdings besteht zurzeit weiterhin ein hohes Entwicklungspotenzial im privaten Sektor, das durch die Ansprache der Nutzer und Entwicklung von Strukturen unterstützt werden kann. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass im öffentlichen Sektor durch die Initiative GMES, gefördert durch EU und ESA, erste funktionierende Strukturen geschaffen worden sind, die in den nächsten Jahren weiter an Bedeutung gewinnen und weiterhin gefördert und institutionalisiert werden. Zur Stärkung der deutschen Kompetenz für die Bereitstellung satellitengestützter Kriseninformation konnte DeSecure durch die Optimierung der Schnittstellen zwischen verschiedenen Akteuren einen bedeutenden Beitrag leisten.

Kosten der Mechanismen für die Nutzer

Eine wesentliche Frage der zukünftigen Akzeptanz EO-basierter Dienste speziell im Katastrophenfall ist neben der umgehenden und verlässlichen Verfügbarkeit deren Finanzierung.

Die bisherigen Mechanismen für die Bereitstellung von satellitengestützten Kriseninformationen für öffentlichen Nutzer bieten unter bestimmten Voraussetzungen eine kostenlose Datenerfassung (Charter, GMES,...). Für private Nutzer stehen damit auch die aufgenommenen Satellitenszenen (kostenpflichtig) beim jeweiligen Satellitendatenprovider zur Verfügung. Die Daten können bei einer Doppelnutzung den privaten Nutzern jedoch preisgünstiger angeboten werden, da keine Zusatzkosten für Neuaufnahmen notwendig sind. Dementsprechend können durch verstärkte Zusammenarbeit zwischen Satellitendatenbetreibern und Einrichtungen wie dem ZKI deutliche Synergien hervorrufen werden.

Während in der gegenwärtigen Phase der Implementierung von GMES die Finanzierung über Forschungsprogramme (z.B. EC - FP-7, national DeSecure) oder präoperationale Imp-

lementierungsprojekte (z.B. ESA - GSE) Demonstrationen gesichert sind, stellt sich die Frage nach der Finanzierung für die anschließende operationelle Phase. Für die Zeit zwischen 2011 und 2013 scheint eine Finanzierung gesichert: Am 11. Mai 2010 genehmigte der Ausschuss für Industrie, Forschung und Energie des Europäischen Parlaments (ITRE) ein Budget von 107 Mio. € für den Betrieb von GMES im Zeitraum von 2012 bis 2013 (GMES intial operations – GIO). Am 16. Juni 2010 stimmte das EU Parlament diesem zu.

Grundlegend muss dazu angemerkt werden, dass die öffentlichen Bedarfsträger, wie z.B. nationale und internationale Hilfsorganisationen, mit keinen oder nur unzureichenden Budgets für Geoinformationen ausgestattet sind. Darüber hinaus ist auf Grund des Querschnittcharakters dieser (Geo-)Informationen eine zentrale Beschaffung und Bereitstellung für alle Nutzer notwendig.

Basierend auf den Erfahrungen mit diversen (potenziellen) Nutzern von Krisenkartierungsprodukten ist eine Forderung des DeSecure-Konsortiums, dass den öffentlichen Bedarfsträgern die benötigten Informationen kostenfrei – gewährleistet und geregelt über einen zentralen Finanzierungsmechanismus – bzw. zu einem geringen Beitrag zur Verfügung gestellt werden. Der Beitrag könnte z.B. in Abhängigkeit des Produkts, der Fragestellung usw. bemessen sein. Jedoch werden diese Beiträge nie die Kosten der Satellitendatenbereitstellung und -auswertung decken können, so dass aus Sicht des DeSecure-Teams eine zentrale dauerhafte Finanzierung für die Beschaffung der benötigten EO-Daten als auch für die Erstellung der Geoinformationsprodukte durch z.B. europäische und/oder nationale Budgetlinien erfolgen muss.

2 Zeitnahe Satellitendatenbeschaffung und Datenhandhabung

Die Beschaffung der Satellitendaten ist naturgemäß Voraussetzung der Satellitengestützen Krisenkartierung. Der gesamte Zyklus von Bestellung über Kommandierung der Aufnahme am Satelliten bis zum Empfangen an einer Bodenstation und Vorprozessierung der Satellitendaten ist zeitintensiv und daher ein Kandidaten zur Optimierung.

Für die zeitnahe Beschaffung und Handhabung von Satellitendaten ist das optimierte Zusammenspiel unterschiedlicher Elemente innerhalb des Krisenkartierungsprozesses notwendig. Abbildung 6 gibt dazu einen kurzen Überblick. Die hellblau unterlegten Prozesse wurden im Laufe des Projektes DeSecure in der Theorie allgemein und exemplarisch an den Prozessen der Fernerkundungsmissionen RapidEye und TerraSAR-X verbessert.

Die dargestellten Schritte dafür sind:

- Die Bestellung durch einen, für den Satellitendatenanbieter externen, Kunden.
- Die Bewertung ob die Bestellung mit Katalogdaten bedient werden kann oder eine aktuellere Aufnahme notwendig ist,
- Als interne Aktionen des Satellitendatenanbieters die Erstellung eines Aufnahmeplans, der die Bestellten Daten des Kunden beinhaltet, die Kommandierung des Satelliten die über eine Bodenstation beim Überflug des Satelliten erfolgt, die Durchführung der Aufnahme und die Übertragung der akquirierten Daten durch den Satelliten bei einem weiteren Kontakt zu einer Bodenstation.
- Die Nachbearbeitung der akquirierten Daten und
- Die Auslieferung der Daten

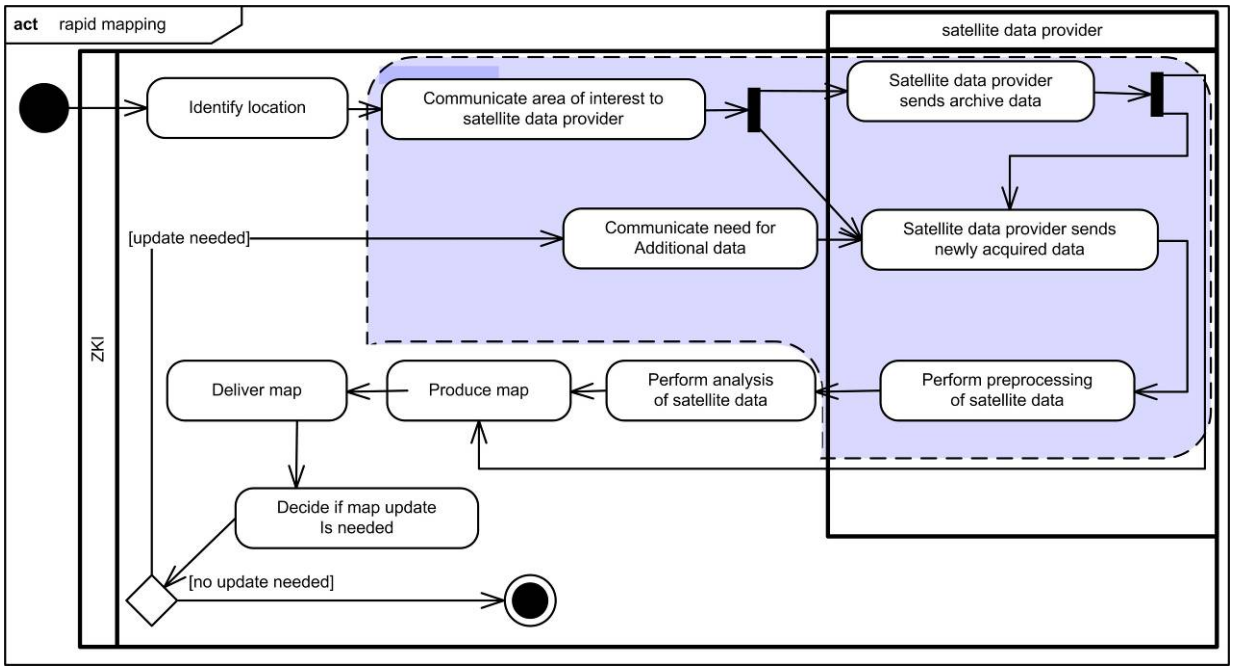

Abbildung 6: Prozesse in der Krisenkartierung

Im Rahmen des Projektes DeSecure wurden folgende Verbesserungen für die Krisenkartierung durch die Satellitenmissionen RapidEye und TerraSAR-X erreicht:

2.1 Prozesse der zeitnahen Satellitendatenbeschaffung und Handhabung in der Mission RapidEye

Die RapidEye Satellitenkonstellation besteht aus 5 Satelliten die im August 2008 erfolgreich gestartet wurden. Im Rahmen von DeSecure wurde der sogenannte „Special Order Request Workflow“ eingeführt der die Laufzeit einer Bestellung auf das Minimum reduziert. Dieses Verfahren stellt sicher, dass eine Special Order bei der Kommandierung der nächsten durchzuführenden Bildaufnahme mit höchster Priorität berücksichtigt wird. Anstatt der lediglich vorgesehenen Erprobung wurde das Verfahren bedingt durch ein reales Krisenszenario unmittelbar in der Praxis eingesetzt und dabei erfolgreich evaluiert.

Seit diesem ersten Einsatz für Waldbrände in Australien im Februar 2009 wurden Special Order Requests erfolgreich zur Aufnahme folgender Krisensituationen eingesetzt:

- April 2009 April sowie April 2010: Überflutungen in Namibia (Caprivi)
- Juli 2009: Waldbrände in Griechenland
- März 2010: Erdbebenschäden in Haiti
- April 2010: Erdbeben- und Tsunamifolgen in Haiti
- April 2010: Ölverschmutzung im Golf von Mexiko

Die kontinuierlich durchgeführten Optimierungen des Special Order Request Workflow umfassen vor allem die Minimierung der Interaktion mit dem Planungssystem und erhöhte Flexibilität durch Einführung einer zweiten täglichen Kommandierungsplanung.

Die Bearbeitung eines Special Order Requests beginnt mit der Eingabe der Bestellung in das RapidEye Planungssystem, welches die Details für die nachfolgenden Prozessschritte verfügbar macht. Nach erfolgter positiver Kommandierung in der nächsten Planungssitzung (6:00 Uhr bzw. 14:00 Uhr Weltzeit) wird der Auftrag von der RapidEye Bodenstation in Brandenburg an der Havel an die Satellitenkonstellation weitergegeben. Nach erfolgter Aufnahme durch die Satelliten werden die Bilddaten über eine Bodenstation in Norwegen (Spitzbergen) übertragen. Von dort werden sie an das RapidEye Hauptquartier in Brandenburg a. d. H. zur weiteren Verarbeitung gesendet. Die Auslieferung von Daten und Produkten an den Kunden erfolgt über einen RapidEye FTP-Server.

Aufgrund der Rahmenbedingungen des Systemdesigns gelten auch für Special Orders Untergrenzen der erreichbaren Bearbeitungsgeschwindigkeit: Die Zeitspanne zwischen erfolgreicher Kommandierung einer Special Order bis zum Empfang der Bildrohdaten in Spitzbergen hängt von der Entfernung zwischen der Bodenstation in Brandenburg a.d.H. und dem Zielgebiet ab. Sie variiert zwischen minimal 90 Minuten und maximal 13 Stunden. Die Übertragung der Rohdaten nach Brandenburg a.d.H. zur Prozessierung kann bis zu 60 Minuten dauern. Die genannten Zeitangaben wurden bei allen bisherigen sechs Einsätzen des Rapid Order Prozesses im Rahmen von DeSecure eingehalten.

Die Dauer der Weiterverarbeitung der Rohdaten zu Bildprodukten ist abhängig von den vom Kunden angeforderten Produkttypen.

2.2 Prozesse der zeitnahen Satellitendatenbeschaffung und Handhabung in der Mission TerraSAR-X

Der Satellit TerraSAR wurde im Juni 2007 erfolgreich in seinen Orbit gebracht. Schon vier Tage danach waren erste Bilddaten verfügbar. Die TerraSAR-X Mission wurde als Public Private Partnership zwischen dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt und der EADS-Astrum GmbH realisiert. Hierbei wird die Satellitenkontrolle, das sog. Nutzlastbodensegment, die Verteilung der SAR-Daten sowie die Instrumentenkontrolle innerhalb des DLR ausgeübt. Darüber hinaus wird die wissenschaftliche Nutzung der TerraSAR-X-Daten durch das DLR koordiniert. Infoterra hat alle

kommerziellen Vermarktungsrechte der TerraSAR-X-Daten inne und betreibt das kommerzielle Service Segment

Im Rahmen des Projektes DeSecure wurden einige Verbesserungen von den Partnern Infoterra und DLR in den bereits etablierten Abläufen vorgenommen. Dies sind die durch Infoterra, dem Inhaber der exklusiven Rechte der kommerziellen Vermarktung von TerraSAR-X-Daten vorgenommenen Verbesserungen bei der

- Benutzerregistrierung
- Optimierung der Aufnahmeoptionen für die Notwendigkeiten der Krisenkartierung (Bestellung von langen, ununterbrochenen Aufnahmen anstelle von kurzen, sogenannten StripMap-Szenen)
- Überprüfung der Datensensitivität (nach dem deutschen Satellitendatensicherheitsgesetz - SatDSiG)
- Weiteren Automatisierung des Bestellablaufs, um zeitintensive manuelle Interaktionen zu minimieren (dies betrifft unter anderem die Sensitivitätsprüfung nach dem SatDSiG – es wurden entsprechende Vorabprüfungen möglicher Besteller durchgeführt, die hier manuelle Interaktionen einsparen)
- Automatisierung der Datenauslieferung.

Sowie die im DLR vorgenommenen Verbesserungen bei

- Der verwendeten Storage Hardware – d.h. die Verfügbarmachung von zusätzlichem Speicherplatz für NRT (Near Real Time) Daten um eine sofortige Prozessierung ohne warten auf das Freiwerden von Ressourcen zu ermöglichen
- Parallelisierung von Prozessen für DeSecure-relevanten Prozesse – d.h. in diesem fall die Entschlüsselung von NRT-Daten kann auf einem anderen Rechner erfolgen als die der „normalen“ Daten was dazu führt, dass diese wesentlich früher bereitgestellt werden können.
- Optimierung der Bestelloptionen für wissenschaftliche Nutzer von neu zu erstellenden Aufnahmen wie für bereits im Katalog vorhandenen Aufnahmen.

Die am stärksten begrenzende Rahmenbedingung ist nun die Kommandierungsmöglichkeit des Satelliten und die, der Kommandierung vorangehende, Erstellung eines Zeitplans für den Satelliten. Für TerraSAR-X gibt es zwei Kommandierungsfenster – eine morgens und eine nachmittags. Die Bestellung muss allerdings, beispielsweise für das Kommandierungsfenster am Morgen, schon bis 21.30 UTC des vorherigen Tages eingehen. Dies führt im optimalen Fall zu einer Laufzeit von Bestellung durch den Auftraggeber über Kommandierung des Satelliten zur Akquisition der Daten bis zur Auslieferung der Produkte von unter 12 Stunden, wobei die Laufzeit von Kommandierung bis Auslieferung im Optimalfall eine Stunde beträgt.

Die durch DeSecure durchgeführten Optimierungen haben eine wesentliche Beschleunigung des Prozesses der Satellitendatenakquisition, speziell für die Krisenkartierungsrelevante NRT-Kette, zur Folge und sich somit den hier gesammelten Benutzeranforderungen weiter angenähert. Dies führte dazu, dass sich die beiden Systeme RapidEye und TerraSAR-X bereits erfolgreich als GMES Contributing Missions (Satellitenmissionen, die Daten für GMES-Projekte bzw. –Dienste wie z.B. dem Emergency Response Service bereitstellen) qualifizieren konnten

3 Optimierte Vorverarbeitung von Satellitendaten

Wie schon in den Nutzeranforderungen festgestellt, sollten für eine effiziente Nutzung von Geoinformationen vor oder während einer Krise/Katastrophe die Daten in einem Geoinformationssystem (GIS) eingebunden und zur Verfügung gestellt werden. Dafür müssen die Daten orthorektifiziert sein, d. h., den Daten wird ein geographisches Koordinatensystem zugewiesen und das Bild wird in dieses System transformiert (eliminiert geometrische Verzerrungen, die bei der Aufnahme entstehen können). In Krisensituationen ist eine schnelle und genaue Geokodierung notwendig, um innerhalb weniger Stunden Informationen zur Verfügung zu stellen und diese mit anderen georeferenzierten Daten vergleich zu können.

Die Vorverarbeitung von Satellitendaten umfasst im Allgemeinen nicht nur die geometrische Korrektur der Daten sondern auch die Verbesserung der Radiometrie. Dazu zählt z.B. die Beseitigung von Bildfehlern durch Beleuchtungs- bzw. Atmosphärenkorrektur. Radiometrische Korrekturen verbessern die Bildqualität und gleichen Farbübergänge zwischen benachbarten Bildausschnitten aus, so dass Bildmosaike erstellt werden können.

3.1 Optimierte geometrische Vorverarbeitung

Für die Orthorektifizierung von Satellitendaten gibt es etablierte Verfahren, sowohl für optische als auch für SAR-Szenen. Aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmemethoden werden verschiedene Verfahren für diese Daten benötigt. Diese Verfahren wurden im Hinblick auf Genauigkeit, Nahe-Echtzeit-Fähigkeit und die Automatisierbarkeit analysiert. Bestand Potential für Optimierungen, so wurden diese durchgeführt. Die Erkenntnisse der Analyse und die Ergebnisse der Optimierung werden in den folgenden beiden Kapiteln zusammengefasst.

3.1.1 Optimierte Orthorektifizierung optischer Satellitendaten

Zur Feststellung des Optimierungspotentials bei der Orthorektifizierung optischer Satellitendaten wurde eine Analyse der auf dem Markt und bei den Projektbeteiligten verfügbaren Methoden durchgeführt. Dazu wurden vier Softwarepakete untersucht im Hinblick auf ihre Fähigkeit optische Satellitendaten zu orthorektifizieren (3 kommerziell verfügbare Programme und das Forschungsprogrammpaket XDibias). Von den Satellitendatenanbietern werden dafür Informationen über die Satellitenposition während der Aufnahme mitgeliefert: entweder Daten der inneren und äußeren Orientierung (Bahn- und Lagedaten) oder Polynomialkoeffizienten, sogenannte Rational Polynomial Coefficients (RPC).

Abbildung 7: Funktionsweise Orthorektifizierung, Beispiel Flugzeuggetragene Aufnahme von Oberpfaffenhofen (links) und orthorektifiziertes Bild (rechts). Bei der Orthorektifizierung werden Verzerrungen durch die Bewegung des Flugzeuges und verschiedene Geländehöhen entfernt, dies wird vor allem an der „begradigten“ Landebahn und den nach der Entzerrung unregelmäßigen Bildrändern sichtbar.

Für den Vergleich wurden verschiedene Testdatensätze mit allen vier Programmpaketen prozessiert und die Ergebnisse verglichen. Alle Softwarepakete liefern Ergebnisse mit der gleichen hohen Genauigkeit in maximal 45 Minuten Rechenzeit. Die Auswahl des Programmpaketes kann also anhand anderer Kriterien erfolgen, z. B. Potential zur Automatisierung und Rechenzeiten. Wir empfehlen ein Programm zu benutzen, welches man schon besitzt und dessen Bedienung erlernt ist, da in diesem Fall ist die Fehleranfälligkeit am geringsten und die Ergebnisse sind so am schnellsten und zuverlässig verfügbar. Daraus resultierend wurde für Optimierungen die Software XDibias verwendet, da hierfür die meisten Kenntnisse vorliegen und ein sehr hohes Potenzial und Erfahrung zur Automatisierung besteht.

Für die Kartierung von Krisenereignissen wird häufig eine große Zahl von Satellitensensoren bzw. deren Daten verwendet. Zur Beschleunigung der Vorverarbeitung ist die Einbindung in eine automatische Prozesskette jedoch nur dann möglich, wenn die entsprechend benötigten Zusatzinformationen wie Orientierungsdaten oder RPC vom Satellitenbetreiber zur Verfügung gestellt werden und deren Format bekannt ist. Die am DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) bereits entwickelte Prozesskette für optische Sensoren CATENA ist im Rahmen von DeSecure um je ein Importmodul für Quickbird- und RapidEye-Daten, zusätzlichen Möglichkeiten für den Import von Referenzszenen sowie weiteren Anpassungen wie z. B. an sehr große Szenen erweitert worden. Außerdem konnte die Prozessierungszeit von ca. 100 Minuten (manuelle Prozessierung mit XDibias) auf 6 bis 42 Minuten (automatische Prozessierung mit CATENA) verringert werden. CATENA wird auch in Zukunft nach Bedarf mit mehr Import-Modulen für weitere optische Sensoren erweitert. Diese Prozesskette ist außerdem so flexibel gestaltet, dass auch zusätzliche Prozessierung wie Atmosphärenkorrektur bis hin zu thematischen Prozessen möglich ist. Die Prozessierungskette steht dem ZKI für Krisenkartierungen zur Verfügung und wird eingesetzt.

3.1.2 Optimierte Orthorektifizierung von SAR-Satellitendaten

Nahe-Echtzeit-SAR-Bilder werden am ZKI zur Kartierung von Naturkatastrophen wie Überflutungen oder Hangrutschungen verwendet. Die bei den Projektpartnern gängigen Verfahren zur SAR-Geokodierung wurden ähnlich den optischen Verfahren analysiert im Hinblick auf Genauigkeit und Optimierungspotential.

Die Untersuchung der Lagegenauigkeit von orthorektifizierten TerraSAR-X-Bildprodukten sowie der Prozessierungsgeschwindigkeit für unterschiedliche Prozessierungsszenarien führte auch hier zu einer Optimierung. In einer Untersuchung wurden zunächst alle Faktoren mit Einfluss auf die geometrische Lagegenauigkeit bei der Orthorektifizierung von TerraSAR-X-Bildprodukten betrachtet. Dabei haben sich zwei Parameter als stärkste Einflussfaktoren herausgestellt:

- Flugbahn des Satelliten (Orbitgenauigkeit)
- Qualität & Genauigkeit des digitalen Höhenmodells (DHM)

Diese beiden Einflussfaktoren wurden besonders in Hinblick des Nah-Echt-Zeit-Szenarios untersucht, d.h. eine Prozessierung der Daten in möglichst geringem zeitlichem Abstand zur Aufnahme eines Datensatzes. Im Standardfall gibt es zwei orthorektifizierte Produkte des TerraSAR-X Satelliten. Das EEC-Produkt (Enhanced Ellipsoid Corrected) wird von der DLR ohne die Verwendung von Passpunkten mit einem Höhenmodell erstellt. Ein alternatives Produkt, das „Orthorectified Image“, wird von der Infoterra GmbH angeboten. Dieses Produkt wird mit digitalen Höhenmodellen hergestellt, welche eine höhere Genauigkeit aufweisen und meist nicht frei verfügbar sind (von Kunden bereitgestellt). Die Prozessierung wird im Standardszenario ebenfalls ohne Passpunkte (Ground Control Points = GCP) durchgeführt, aber auch die Verwendung von Passpunkten ist möglich.

Standardgemäß steht ein Orbit mit einer Genauigkeit von ~20 cm zur Verfügung (Science Orbit). Dieser ist jedoch erst 5 bis 7 Tagen nach der Aufnahme verfügbar. Im Falle des NEZ-Szenarios ist nur eine geringere Orbitgenauigkeit verfügbar (~700 m, Predicted Orbit), welche aus vorausberechneten Flugbahnen abgeleitet wird. Als Zwischenprodukt gibt es noch

den Rapid Orbit, welcher etwa 5-15 Stunden nach der Datenverfügbarkeit der aufgenommen Daten berechnet ist und eine Genauigkeit von ~2 m besitzt. Des Weiteren wurde die Einbeziehung von GCPs zur Verbesserung der Lagegenauigkeit bei der Orthorektifizierung im NEZ-Szenario betrachtet.

Im ersten Schritt wurde zunächst der Einfluss der Genauigkeit des digitalen Höhenmodells für verschiedene Testgebiete mit unterschiedlichen Geländeeigenschaften (Alpen- und Mittelgebirgsraum) untersucht. Dazu wurde für die Orthorektifizierung von TerraSAR-X-Szenen immer die gleiche Orbitgenauigkeit (Science Orbit) unter Verwendung unterschiedlicher digitaler Höhenmodelle durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe von GPS-Punkten überprüft. Es konnten die theoretischen Überlegungen bestätigt werden: DHMs mit einem geringen Höhenfehler führen zu einer besseren geometrischen Lagegenauigkeit des orthorektifizierten Bildproduktes. Die Ergebnisse des alpinen Testgebietes zeigten eine signifikant stärkere Verbesserung der geometrischen Lagegenauigkeit als die Ergebnisse für ein Gebiet im Mittelgebirge. Der Grund für diesen Effekt liegt in dem signifikanten Unterschied der zugrundeliegenden DHMs speziell im steilen Relief.

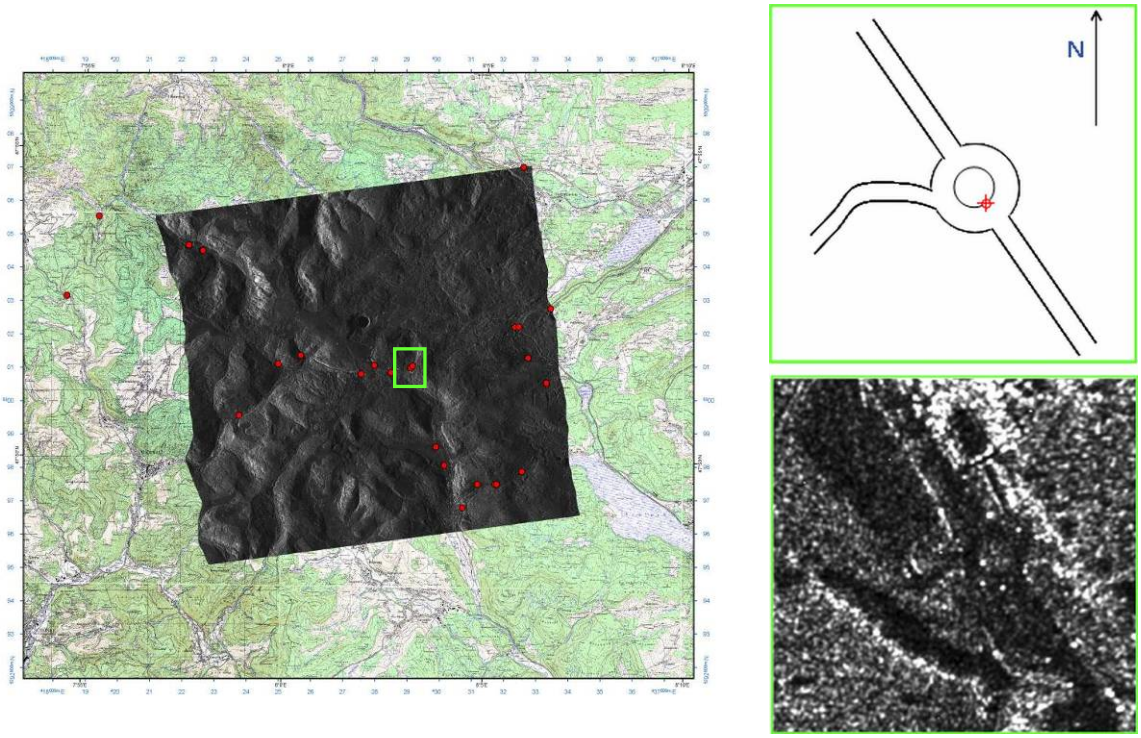

Abbildung 8: Messung der Lagegenauigkeit orthorektifizierter TerraSAR-X Szenen am Beispiel Schwarzwald (Spotlight, 2.06.2008)

Die Laufzeitanalysen für die Orthorektifizierung ohne manuelles Einmessen von Passpunkten im kommerziellen TerraSAR-X Service Segment zeigten, dass eine SpotLight- bzw. High-Resolution-SpotLight-Szene in 20 bis 30 Minuten prozessiert werden kann. Um eine verbesserte Lagegenauigkeit der Bildprodukte durch die Nutzung eines höherwertigen DHMs zu erzielen, muss diese Zeit berücksichtigt werden, insbesondere auch für den NEZ-Fall.

Die Ergebnisse im Vergleich der Genauigkeit des Rapid Orbits zum Science Orbit zeigte, dass der Unterschied der Lagegenauigkeit der erstellten Bildprodukte minimal ist (etwa 0.5 m). Die geometrische Lagegenauigkeit der Bildprodukte, die mit dem Predicted Orbit erstellt wurden, ist dagegen sehr variabel (5 bis 34 m). Allerdings übersteigen die gemessenen Ergebnisse die erwartete Genauigkeit. Des Weiteren wurden in den Bildprodukten auch keine Bildartefakte gefunden. Von daher sollten Produkte mit dem Predicted Orbit für NEZ-Anwendungen auch in Betracht gezogen werden.

Eine weitere Option zur Verbesserung der Lagegenauigkeit ist die Nutzung von Passpunkten. Hierzu wurden verschiedene Tests durchgeführt, die eine solche Verbesserung zeigen

konnten. Dies gilt sowohl für die manuelle Selektion von GCP als auch für die Nutzung von bereits vorhandenen GCP aus einer Datenbank. Es muss allerdings bedacht werden, dass im Falle einer manuellen Messung der GCP die Prozessierung länger dauert und Referenzdaten verfügbar sein müssen. Diese Einschränkungen und die relativ schnelle Verfügbarkeit des Rapid Orbits müssen bei der Auswahl des Produktes im NEZ-Fall beachtet werden.

Die SAR-Geokodierung erfolgt am DLR mit dem Prozessor EGEO, der für die Geokodierung von SRTM- und Envisat-ASAR-Radarbildern entwickelt wurde und seitdem um neue Sensoren erweitert wird. Im Rahmen von DeSecure wurden die Satelliten ALOS-PALSAR und RADARSAT-II in den Prozessor EGEO integriert. Die Geokodierung basiert auf sehr präzisen Orbitdaten mit Genauigkeiten im Zentimeterbereich und erfolgt ohne Passpunkte. Ist die Orbitgenauigkeit nicht präzise genug, wie beispielsweise bei RADARSAT-I (Genauigkeit von 1 km), kann die oben genannte Genauigkeit nur mit Hilfe von Passpunkten zwischen dem SAR-Bild (ground range) und einem Referenz-Bild erreicht werden. Im Vergleich mit Referenzdaten wiesen die geokodierten RADARSAT-II-Szenen eine gute Lagegenauigkeit auf und die ALOS-PALSAR-Szenen nur eine unzureichende Lagegenauigkeit, die wiederum nur mit Hilfe von Passpunkten verbessert werden kann. Die Verwendung von Passpunkten wurde durch die Dokumentation der Messung in einem Bildverarbeitungsprogramm und der weiteren Verarbeitung in EGEO standardisiert.

Der automatische Ablauf der Geokodierung mit dem Prozessor EGEO wurde anhand zweier Testdaten untersucht, einer ERS-2- und einer RADARSAT-II-Szene. Die Geokodierung beider Daten erfolgte innerhalb von 20 min. Eine höhere Auflösung des Referenzgeländemodells würde zu einer längeren Rechenzeit führen. Auflösung und Rechenzeit sollten jeweils an die Anforderung angepasst werden.

3.1.3 MATCHING VON OPTISCHEN UND SAR-SATELLITENDATEN

Die bisher beschriebenen Orthorektifizierungsverfahren können für Satellitendaten verwendet werden, die mit Informationen über die Satellitenposition geliefert werden. Wenn keine solchen Zusatzinformationen verfügbar sind, jedoch schon georeferenzierte Archivszenen vorliegen, besteht die Möglichkeit, die Daten mittels identischer Punkte zu orthorektifizieren. Diese Punkte können manuell (Passpunktmessung) oder automatisch (Matching) bestimmt werden. Die gefundenen Punkte können auch die automatische Orthorektifizierung mit Orbitdaten verbessern (höhere absolute Genauigkeit). Bildmatching ist auch ein wichtiger Vorverarbeitungsschritt für die automatische Veränderungsanalyse im Krisenfall, um die benötigte hohe relative Übereinstimmung der Bilder zu erhalten (Change Detection). Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analysen bestehender Verfahren und Neuentwicklungen im Projektrahmen vorgestellt.

Genau so vielfältig wie die Gründe für das Matching von Bilddaten sind auch die Verfahren, die dafür zur Verfügung stehen. Im Rahmen des Projektes DeSecure wurden folgende Fälle näher untersucht:

- Analyse bestehender Verfahren zum Matching optischer Daten
- Entwicklung eines vollautomatisierten Verfahrens zum Matching von SAR-Daten
- Analyse von Optimierungspotentialen zum Matching von SAR-Daten durch Wiederverwendung der Passpunkte mittels „chip matching“
- Neuentwicklung von Methoden zur automatischen Registrierung von optischen Daten mit SAR-Daten

Eine ähnliche Untersuchung wie zur Orthorektifizierungssoftware in Kapitel 3.1.1 wurde auch für Bildmatchingsoftwaretools durchgeführt. Es wurden wiederum vier Softwarepakete im Hinblick auf geometrische Genauigkeit der homologen Punkte, Automatisierbarkeit, Nahe-Echtzeit-Fähigkeit und Benutzerfreundlichkeit untersucht. Für den Vergleich wurden verschiedene Testdatensätze mit allen vier Programmpaketen prozessiert und die Ergebnisse qualitativ und quantitativ analysiert.

Hauptergebnis ist, dass das Forschungsprogrammpaket XDibias die höchste geometrische Genauigkeit liefert und aufgrund verfügbarer Skripte einfach zu benutzen ist. XDibias verwendet als einziges Programm lokales Matching nach der Methode der kleinsten Quadrate (local least-squares matching) und nicht nur korrelationsbasiertes Matching wie die kommerziell verfügbaren Programme. Daher liefert XDibias die zuverlässigsten Ergebnisse, jedoch ist die Rechenzeit bei XDibias am höchsten.

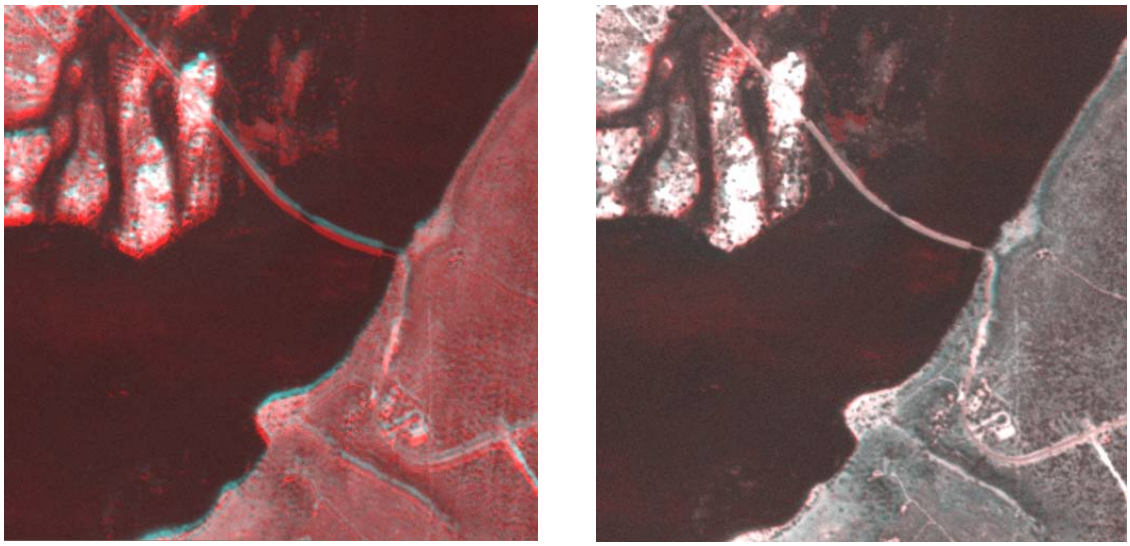

Abbildung 9: Überlagerung von Daten der Satelliten Spot-5 (vom 12.11.2007, in rot) und RapidEye (vom 8.4.2009 in cyan) links vor und rechts nach der Co-Registrierung (Matching) der Datensätze

Wie im Kapitel 3.1.2 beschrieben ist die Orbitinformation kurz nach der Aufnahme von SAR-Daten meist nicht genau genug bekannt. Daher wurde im Rahmen des Projektes DeSecure ein Prototyp für die vollautomatische Orientierung für SAR-Bilder entwickelt. Ziel ist die Bestimmung eines genauen Orbits für die Geokodierung durch Bild-zu-Bildregistrierung zwischen einem NEZ-SAR-Bild und einem bereits entzerrten SAR-Bild. Dafür wird ein neuer Algorithmus zur Merkmalsextraktion verwendet, der von Lowe 2004 im Bereich Computer Vision entwickelt wurde. Es werden keine zusätzlichen Informationen über die Lage der Bilder oder den Überlappungsbereich benötigt. Der Punktoperator extrahiert Punkte mit maßstabs- und rotationsinvarianten Merkmalen, die eine erfolgreiche Registrierung von Bildpunkten auch dann ermöglichen, wenn die Bilder sehr unterschiedlich sind, z. B. mit verschiedenen Einfallswinkeln erfasst wurden. Die resultierenden Punkte im Referenzbild werden als GCP für die Orthorektifizierung benutzt.

Beispiele mit drei Datensätzen wurden analysiert und die Ergebnisse diskutiert. Die erreichte Genauigkeit ist den Ergebnissen unter Verwendung eines hochpräzisen Orbits äquivalent. Es hat sich gezeigt, dass der Ansatz für eine große Auswahl an SAR-Szenen verschiedener Sensoren, Einfallswinkel, Überlappungsbereiche und für verschieden SAR-Bänder genutzt werden kann. Das Verfahren ist sehr verlässlich, setzt jedoch heterogene Bildinhalte voraus.

Neben der Bild-zu-Bild-Registrierung ist die Wiederverwendung von bereits gemessenen Passpunkten in Aufnahmen desselben Gebietes zu anderen Aufnahmeterminen eine weitere Methode zur Verbesserung der Geokodierung. Zur Wiederverwendung der GCP wird das sogenannte „chip matching“ verwendet, welches auch auf einer Bild-zu-Bild-Registrierungsmethode basiert. Die Tests wurden für das Testgebiet Massane Les Alpilles (Frankreich) durchgeführt, wo ein bewegtes bis flaches Gelände vorherrscht. Für dieses Testgebiet lagen sowohl GCP als auch Aufnahmen von verschiedenen Zeitpunkten vor. Des Weiteren waren unterschiedliche Orbitqualitäten verfügbar.

Die beste geometrische Lagegenauigkeit konnte, wie zu erwarten, für das mit dem Science Orbit orthorektifizierte Bildprodukt erreicht werden. Ebenso zu erwarten war die schlechteste Lagegenauigkeit des Bildproduktes, das mit dem Predicted Orbit ohne GCP-Nutzung be-

rechnet wurde. Allerdings wurde ebenfalls bewiesen, dass mit Hilfe von GCP, die während der Orthorektifizierung gesetzt werden, die gleiche Lagegenauigkeit wie für ein Science Orbit-Produkt erreicht werden kann, obwohl nur eine schlechte Orbitqualität vorliegt.

Die vorhandenen GCP können für die Orthorektifizierung weiterer Aufnahmen über demselben Gebiet wiederverwendet werden (chip matching). Für jeden GCP wird ein Bereich um den Punkt aus dem Bild ausgeschnitten und mit den Koordinaten in einer Datenbank abgelegt. Mit Hilfe der Bild-zu-Bild-Registrierung können die Passpunkte in einem anderen Bild wieder identifiziert und die Koordinaten zugewiesen werden. Die verschiedenen „chip matching"-Szenarien zeigten, dass die Bild-zu-Bild-Registrierung hervorragend funktioniert, wenn die Aufnahmen mit demselben Einfallswinkel aufgenommen wurden. Ebenfalls konnte kein signifikanter Einfluss der Polarisation oder der saisonalen Änderung der Rückstreuwerte auf die Robustheit der Methode festgestellt werden. Jedoch hat der Einfallswinkel, in dem die Szene aufgenommen wurde, einen signifikanten Einfluss, d.h. wenn unterschiedliche Einfallswinkel gewählt werden, muss eine höhere Anzahl von Passpunkten in der Datenbank vorliegen, um eine ausreichende Anzahl und Qualität von GCP für die Optimierung der Orbitgenauigkeit zur Verfügung zu haben.

Für den NEZ-Fall konnte nachgewiesen werden, dass eine Verbesserung der geometrischen Lagegenauigkeit der Bilder durch die Verwendung von Passpunkten erzielt werden konnte. Es muss allerdings beachtet werden, dass im Falle einer manuellen Messung der GCP die Prozessierung länger dauert und ebenfalls Referenzdaten verfügbar sein müssen. In vielen Fällen könnten eben diese Referenzdaten nicht vorhanden sein.

Wie bereits beschrieben, ist die Bildregistrierung eine grundlegende Aufgabe der Verarbeitung von Fernerkundungsbildern. Sie wird verwendet, um z. B. zwei oder mehrere Bilder, die zu verschiedenen Zeitpunkten, von verschiedenen Sensoren oder aus unterschiedlicher Perspektive aufgenommen wurden, miteinander zu vergleichen. Im Rahmen einer Dissertation wurden zwei unterschiedliche Methoden entwickelt und kombiniert, nämlich gegenseitige Information (MI) und Scale Invariant Feature Transform (SIFT), um ihre Anwendbarkeit auf multimodale SAR-optische und SAR-SAR-Bildanpassung zu erweitern. Die Leistung von MI wurde für besonders hoch aufgelöste Bilder der Fernerkundung analysiert und diverse Methoden wurden für die Verbesserung der Genauigkeit, der Anwendbarkeit und der Laufzeit für VHR-Bilder von dicht besiedelten städtischen Gebieten beurteilt. Außerdem wurden Verbesserungen der SIFT-Prozesskette analysiert. Dadurch kann dessen Anwendung auf multimodale SAR-Bilder optimiert werden.

3.2 Physikalisch-basierte Methode zur räumlichen Verbesserung multispektraler Satellitendaten

Auf Grundlage bekannter Nutzeranforderungen sollten Geoinformationen neben der Überblicksinformation auch eine hohe räumlich detaillierte Information zur Optimierung und Steuerung eines effektiven Krisenmanagements ermöglichen. Beim sogenannten Pansharpening werden die panchromatischen Bilddaten (Schwarz-Weiß-Bild, Sensor ist über den gesamten Bereich des menschlichen Auges von etwa 400 nm (blau-violett) bis 780 nm (tiefrot) empfindlich) mit hoher Auflösung mit gering aufgelösten Multispektraldaten (Farbbild, Sensoren nimmt Bilder in mehreren Spektralbereichen gleichzeitig auf) fusioniert. Im Ergebnis sind die hohe räumliche Auflösung und die Farbinformation kombiniert.

Das in DeSecure entwickelte Verfahren basiert im Gegensatz zu den meisten bisherigen Algorithmen auf den physikalischen Grundlagen einer korrekten Energiebilanzierung, d. h. das Farbbild hat die höhere Auflösung des panchromatischen Bildes, aber die Farbwerte sind unverändert für die weitere Auswertung (z. B. Klassifikation) vorhanden. Es wurden die theoretischen Grundlagen des Verfahrens erläutert, das Verfahren wurde implementiert und das Potential des Verfahrens anhand von Beispielen demonstriert. Der Test des neuen Verfahrens erfolgte anhand der durch das Projekt bereitgestellten Daten. Die Ergebnisse wurden qualitativ und quantitativ analysiert.

Sowohl die quantitative als auch die qualitative Auswertung (Abbildung 9) zeigen, dass bereits nach 0. und 1. Näherung gut verwertbare Ergebnisse vorliegen, so dass je nach verfügbarem Zeitbudget und Ziel der Auflösungsverbesserung der Prozess nach wenigen Verarbeitungsstufen beendet werden kann.

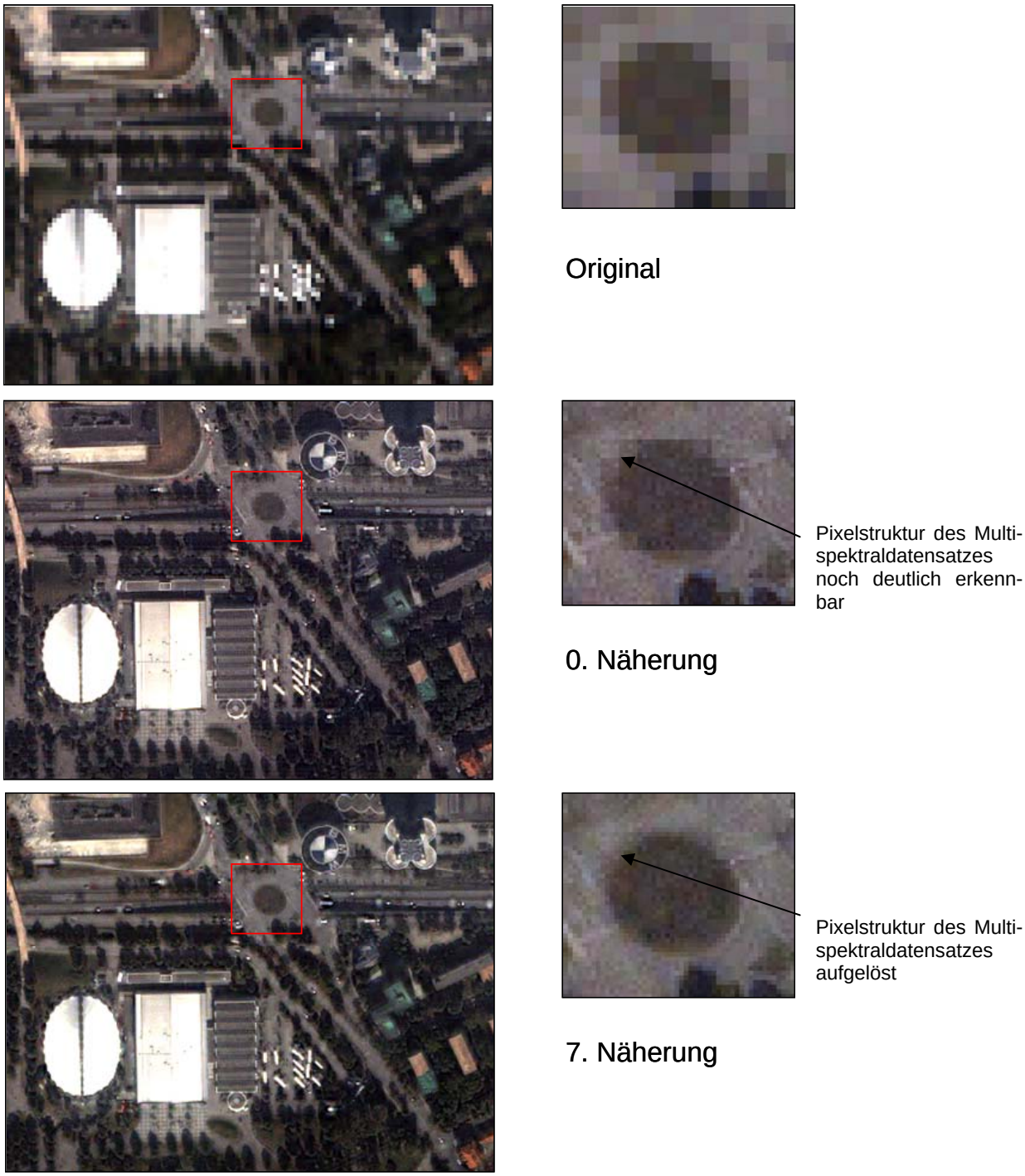

Abbildung 10: Dokumentation der iterativen Qualitätsverbesserung der geometrischen und spektralen Auflösung am Beispiel einer IKONOS-Szene München. Originaldatensatz der geometrischen Auflösung 4 m x 4 m (oben). Auf 1 m x 1 m geometrisch aufgelöster Multispektraldatensatz nach 0. Näherung (mitte). Auf 1 m x 1 m geometrisch aufgelöster Multispektraldatensatz nach 7. Näherung (unten).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Rahmen von DeSecure die folgenden Verbesserungen erreicht werden konnten, die zu einer schnelleren und genaueren Vorprozessierung von Satellitenbilddaten beitragen:

- Beschleunigung der Orthoprozessierung optischer Daten durch Implementierung einer Prozesskette für optische Daten
- Integration der Prozessierung von RapidEye- und IKONOS-Daten in die Prozesskette
- Identifikation der Einflussfaktoren auf die Lagegenauigkeit orthorektifizierter TS-X-Daten und Analyse wie diese im NEZ-Fall minimiert werden können (Trade-off zwischen Schnelligkeit und Genauigkeit)
- Einbindung der Geokodierung von RADARSAR-II- und ALOS-Daten in die Prozessierumgebung EGEO des DFD
- Analyse des Verhaltens von intensitätsbasierten Algorithmen (mutual information, cluster reward algorithm) im Hinblick auf automatische Bild-zu-Bild-Registrierung zwischen verschiedenen SAR-/optischen Datensätzen, Implementierung von Mutual Information
- Entwicklung neuer Registrierungstechnik für die SAR-zu-optisch-Registrierung in urbanen Gebieten
- Entwicklung eines Konzeptes zur automatischen Registrierung von Radardaten und Anwendung auf Testdatensätze (ENVISAT / RADARSAT / ALOS-L / TerraSAR-X)
- Softwaremodul zur physikalisch basierten Auflösungsverbesserung multispektraler Satellitenbilddaten in Nah-Echtzeit erstellt

4 Krisenrelevante Informationsextraktion

Das in der Praxis vorrangig eingesetzte Verfahren zur Erfassung, Aktualisierung und Bewertung von Objekten wie Straßen, Gebäude, Überflutungs- und Vegetationsflächen ist die Auswertung von Satellitenbildern durch einen Operateur. Die hohe Zuverlässigkeit der Ergebnisse wird jedoch durch einen großen Aufwand an Arbeitszeit erkauft. Speziell wenn hohe Ansprüche hinsichtlich Aktualität, Detaillierungsgrad und Konsistenz der Daten zu erfüllen sind, wie dies für die DeSecure Anwendungsfelder der Fall ist, wird die manuelle Auswertung zu einem Hemmnis für wirtschaftliche Erfassungs- und Aktualisierungszeiten – im Falle von Krisensituationen sogar für die Rettung von Menschenleben. Daher besteht seitens der Praxis der Wunsch nach einer möglichst weitreichenden Automatisierung der genannten Aufgabenstellungen. Dies setzt jedoch voraus, dass das interessierende Objekt vom Computer möglichst selbständig im Bild erkannt bzw. aus dem Bild extrahiert und bewertet wird.

Aus wissenschaftlicher Sicht fällt diese Thematik in das Gebiet der Bildanalyse. Deren weitgefasstes Ziel ist es, die dem Menschen ureigene Fähigkeit, seine Umwelt mit den Augen zu erfassen, sie nach Objekten zu strukturieren und die Objekte mit Semantik zu versehen, mit technischen Mitteln zu realisieren. Je geringer dabei die Interaktion des Menschen sein soll, desto umfangreicheres Wissen über die reale Welt muss im Computer in Form eines Modells repräsentiert und durch entsprechende Algorithmen genutzt werden. Die Aufgabe der vollautomatischen Objektextraktion hat sich vor allem als sehr anspruchsvoll erwiesen, wenn keine laborähnlichen Bedingungen wie bei vielen industriellen Anwendungen vorausgesetzt werden können, sondern die abgebildete Szene durch hohe Komplexität gekennzeichnet ist, wie dies in Krisensituationen üblicherweise der Fall ist. Eine weitere Durchdringung dieser Thematik ist eines der Hauptziele im Bereich „Informationsextraktion“ des Projektes DeSecure.

Die Aufgabenstellung wurde konzeptionell von verschiedenen Blickwinkeln angegangen. Als Konsequenz der oben genannten Herausforderungen haben sich zwei grundsätzlich verschiedene Entwicklungsstränge in der Erforschung der Objektextraktion aus Bilddaten herauskristallisiert: Auf der einen Seite steht die praxisorientierte Forschung, deren Ziel die schnelle Entwicklung von hocheffizienten und operationell einsetzbaren Verfahren ist. Hierbei handelt es sich um nutzergeführte Ansätze, die dadurch charakterisiert sind, dass der Computer Aufgaben mit einem geringeren Anteil an Semantik durchführt und semantisch anspruchsvollere Aufgaben, wie Entscheidungen über den Verfahrensablauf, dem Operateur vorbehalten bleiben. Typischerweise benötigt solch ein Verfahren eine manuelle Initialisierung durch Vorgabe von ausgewählten Punkten oder Bildbereichen. Aufgabe des Computers ist es dann, unter Berücksichtigung objekttypischer Kriterien das gesuchte Objekt zu detektieren. Neben einer Minimierung der nötigen Anzahl an Nutzerinteraktionen wurde in den letzten Jahren einer möglichst effizienten Gestaltung der Schnittstelle Mensch versus Computer zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt. Die in den Unterkapiteln 4.1.2, 4.1.3 und 4.2.1 vorgestellten Verfahren zur schnellen, semi-automatischen Detektion Objekten, Segmentierung von Überflutungsflächen und Veränderungsdetektion folgen diesem Entwicklungsstrang.

Im Gegensatz zu diesen Arbeiten behalten Ansätze der grundlagenorientierten Forschung den Anspruch vollständiger Automation bei. Die hier erzielten Ergebnisse können mit jenen der nutzergeführten Ansätze nicht konkurrieren. Der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn liegt vielmehr in der eingehenden Analyse, welche Teile der im Verfahrensablauf ohne Eingriff eines Operateurs zu lösen sind und welche Gründe für ein Scheitern der Extraktion an bestimmten Stellen verantwortlich sind. Die Identifikation, Eingrenzung und Dokumentation solcher Problemstellen bereitet eine fundierte Basis für neue Forschungsarbeiten und letztlich für neue, leistungsfähigere nutzergeführte Ansätze. Dieser Entwicklungsstrang wurde in den Ansätzen in Kapiteln 4.1.1, 4.2.2 und 4.3 verfolgt.

4.1 Semi-Automatische Veränderungsdetektion mittels Bildobjekterfassung

4.1.1 AUTOMATISIERTE ÄNDERUNGSERKENNUNG ANHAND VON RADARBILDERN

Wer kennt ihn nicht? „Eyjafjallajökull“, diesen kleinen isländischen Vulkan, der im Frühjahr 2010 wochenlang sämtliche Medien in Atem hielt. Er hat uns eindrucksvoll vor Augen geführt, wie sensibel unsere moderne Infrastruktur trotz aller technischen Errungenschaften ist. Leider kann man diesen Naturgefahren nicht vorbeugen, sondern nur versuchen, ihre Auswirkungen auf unseren Alltag so gering wie möglich zu halten. Dieses hochgesteckte Ziel erfordert jedoch eine ständige, zuverlässige und flächendeckende Überwachung der Naturphänomene.

Die neuen satelliten-getragenen Radarsensoren leisten hierzu einen wertvollen Beitrag. Sie umkreisen unsere Erde auf stabilen Bahnen, sodass sie ein bestimmtes Gebiet in einem festen zeitlichen Abstand aus der gleichen Perspektive abbilden können. Zudem sind sie als aktive Systeme in der Lage, mit ihren Mikrowellen im Wellenlängenbereich von 1cm -1m unabhängig vom Tageslicht zu agieren und selbst durch Wolken hindurch fast ungehindert Aufnahmen zu tätigen. Optischen Systemen bliebe beispielsweise der Blick auf den Vulkan wegen der starken Rauchentwicklung und Wolkenbildung komplett verwehrt. Hierzu wurde im Rahmen einer Forschungsarbeit ein Verfahren entwickelt, das aus zeitlich versetzten Aufnahmen des deutschen Radarsatelliten *TerraSAR-X* vollautomatisch Änderungen in der Radarrückstreuung sowie ihre Richtung und Stärke ableitet. Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen drei *TerraSAR-X*-Aufnahmen im *StripMap*-Modus (Größe der Bildelemente 2,75m x 2,75m) des Vulkans vor, während und nach seinen Eruptionen.

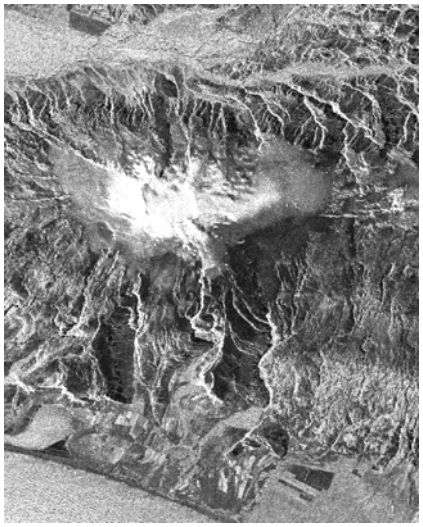

Abbildung 11: TerraSAR-X-Aufnahme des Vulkans 20.03.10

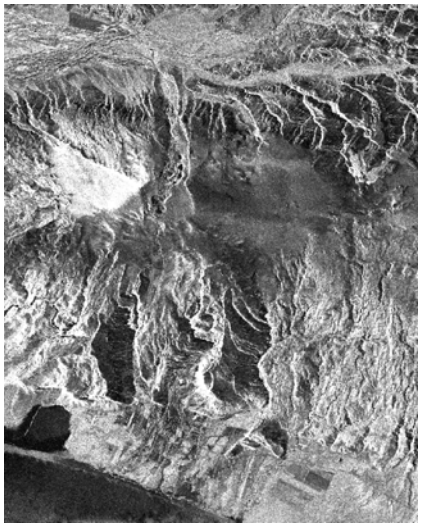

Abbildung 12: TerraSAR-X-Aufnahme des Vulkans 22.04.10

Abbildung 13: TerraSAR-X-Aufnahme des Vulkans 14.05.10

Da die Aufnahmen aufgrund von minimalen Störungen der theoretisch abgeleiteten Satellitenbahn stets um wenige Meter gegeneinander verschoben sind, muss man sie zuerst zueinander und dann zu einen verorteten Koordinatensystem referenzieren. Im Falle von T*erraSAR-X* können die Satellitendaten bereits geokodiert als *EEC (Enhanced Ellipsoid Corrected)* ausgeliefert werden, d.h. die Originaldaten sind auf das Höhenmodell der *Shuttle Topography Mission (SRTM)* aus dem Jahre 2000 entzerrt und liegen einheitlich im *Universal Transverse Mercator (UTM)* Koordinatensystem vor. Auf diese Weise vorverarbeitete Daten lassen sich direkt mit den gebräuchlichen Karten (in *UTM*) überlagern. Ebenso können die Bildkoordinaten ohne Umrechnung dazu verwendet werden, die abgebildeten Objekte vor Ort mithilfe eines GPS-Empfängers wiederzufinden.

Obwohl die Veränderung der Radarrückstreuung in der verkleinerten Farbkomposition der drei Aufnahmen (Abb. 4, Rot: 20.03., Grün: 22.04., Blau: 14.05.) als Schattierung qualitativ

gut zu erkennen ist, verhindert jedoch das für Radaraufnahmen typische multiplikative Rauschen (Speckle) den direkten quantitativen Vergleich einzelner Bildelemente (Pixel). Daher greift man zu einigen mathematischen Tricks. Das zuvor multiplikative Rauschen wird eingangs in ein additives Rauschen überführt. Anschließend stellt man das Bild anstatt als Teppich aus einzelnen Pixeln als Summe einer Vielzahl von linearen Elementen (*Curvelets*) dar. Jedes *Curvelet* steht für eine lineare Struktur einer definierten Länge, in einer gewissen Orientierung und an einer bestimmten Position im Bild. Anstatt einzelner isolierter Pixelwerte vergleicht man nun direkt die linearen Strukturen im Bild und kann vor der Rücktransformation in den Bildraum ausgeprägte Änderungen von eher zufälligen Änderungen aufgrund des Rauschens trennen. Nach der Überführung in die ursprüngliche Skalierung entsprechen die Werte des Differenzbilds den relativen Veränderungen der Radarrückstreuung. Dieser Algorithmus wurde bereits für Forschungszwecke implementiert und läuft nach Auswahl der Eingangsbilder vollautomatisch ab. In den folgenden Abbildungen wird die Stärke der Änderung in Prozent klassifiziert und farbkodiert dargestellt. Rote Färbung zeigt Bereiche mit starker Zunahme in der Radararückstreuung, Blau steht für eine starke Abnahme, während Grün Gebiete mit nur minimalen bzw. keinen Veränderungen markiert, siehe auch die Farbskala.

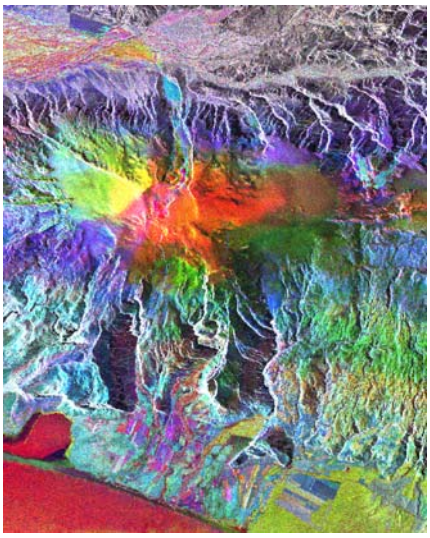

Abbildung 14: Farbkomposit der drei TerraSAR-X-Aufnahmen des Vulkans

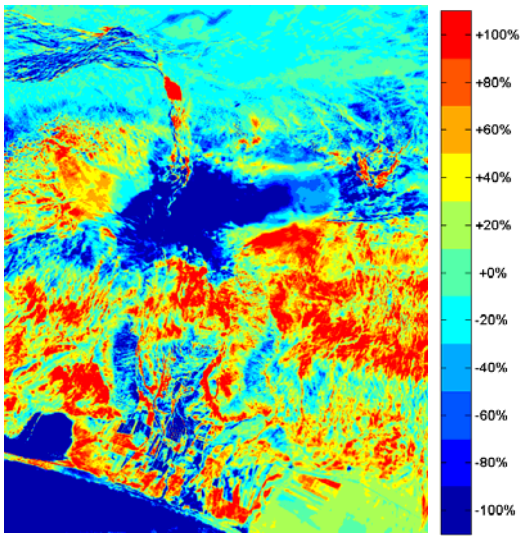

Abbildung 15: Änderungen der Rückstreuung vom 20.03 zum 22.04.

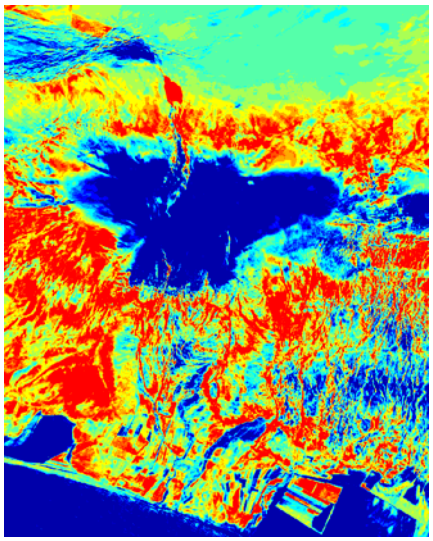

Abbildung 16: Änderungen der Rückstreuung vom 20.03 zum 14.05.

Das Verfahren arbeitet sehr deutlich die Änderungen in der Radarrückstreuung heraus. Während die erste Differenz die Aktivitäten von den ersten Anzeichen eines Ausbruchs bis zur zweiten Eruptionsphase um den 22.04.2010 beschreibt, zeigt die zweite Veränderungen nach dem großen Ausbruch. Mit etwas Vorwissen können diese Rückstreuänderungen konkreten Vorgängen auf der Erdoberfläche zugeordnet werden. Die große blaue Fläche in der Bildmitte zeigt die abgeschmolzene Eiskappe über dem Vulkan. Es ist nicht zu übersehen, dass sich diese Fläche stark vergrößert, weil das Eis durch die Hitze weiter zurückgedrängt wurde. Oben links sind darüber hinaus deutlich die Ablaufrinnen des Schmelzwassers zu erkennen. Die Aufnahmen belegen sehr eindrucksvoll, wie die vom Vulkanausbruch in Mitleidenschaft gezogenen Flächen mit der Dauer und auch der Stärke der Eruptionen zunehmen. Während sich im ersten Differenzbild die großen Änderungen (siehe rote Strukturen) vor allem auf den Bereich südlich des Kraters beschränken, so ist nach dem Ausbruch das gesamte Gebiet rings um den Vulkan betroffen. Ebenso die landwirtschaftlichen Flächen am unteren Bildrand, die bis zum 22. April noch als unverändert angesehen werden können (grüne Färbung), sind im zweiten Differenzbild tiefblau eingefärbt, was eine extreme Abnahme der Radarrückstreuung anzeigt. Obwohl eine Vielzahl von Ereignissen diesen Rückgang hätten auslösen können, so deutet er in diesem Beispiel sehr wahrscheinlich auf eine in der Zeit vom 22. April bis zum 14. Mai aufgetragene Ascheschicht hin.

Mit Hilfe dieses Verfahrens können die Auswirkungen des Ausbruchs aus sicherer Entfernung mit einer hohen zeitlichen Abdeckung und einer sehr hohen räumlichen Auflösung erfasst, automatisch kartiert und als wertvolle Information zur Verfügung gestellt werden. Das hier am Beispiel des Eyjafjallajökull vorgestellte Verfahren eignet sich gleichermaßen auch für eine große Zahl anderer Anwendungen im Krisenkontext. Die bisherigen Erfahrungen umfassen zusätzlich die Kartierung von Waldschäden, insbesondere Brand- und Windwurfflächen, die Überwachung von Abbruchkanten am Beispiel des Tagebaus, die Extraktion akut überfluteter Gebiete sowie die Erkennung beschädigter Gebäude nach Erdbeben. In allen Anwendungen hat sich das Verfahren exzellent bewährt. Auch nicht augenscheinliche Veränderungen wurden erstaunlich gut herausgearbeitet. Durch die spezielle Aufnahmegeometrie und hohe Sensitivität des Radarsystems wurden selbst Änderungen sichtbar, die in optischen Referenzaufnahmen nie zu erkennen gewesen wären. Für die Interpretation jedoch ist ein hohes Maß an Vorwissen erforderlich. Die abgeleiteten Änderungskarten zeigen zwar sehr exakt, wo sich die Radarrückstreuung wie stark verändert hat, aber nicht, was sich dort tatsächlich an den abgebildeten Objekten getan hat. Daher kann nicht die Änderungskartierung auf Grundlage der Radardaten allein, sondern nur die Kombination der Ergebnisse mit anderen Datenquellen in für den Nutzer brauchbare Information umgesetzt werden.

4.1.2 Operative Kartierung von Hochwasserereignissen mit TerraSAR-X-Daten

Die Arbeiten der Infoterra GmbH im Rahmen des Arbeitspaketes „Informationsextraktion“ hatten das Ziel, existierende Verfahren zur Kartierung von Naturkatastrophen zu analysieren und die Verfahren auf ihre Eignung für die Anwendung auf TerraSAR-X Daten unter nahe Echtzeit-Bedingungen zu untersuchen, zu adaptieren und zu testen. Zu Beginn des Projektes wurden die Szenarien Überschwemmungen, Hangrutschungen, Waldbrände sowie Pipeline-Schäden und Ölverschmutzungen identifiziert.

Nach einer Erstanalyse wurde das Szenario Überschwemmungs-Kartierung als erfolgversprechend angesehen, so dass der Schwerpunkt der Arbeiten auf die Entwicklung eines objektbasierten Klassifizierungsverfahrens zur operativen Kartierung von Überschwemmungsereignissen im Krisenfall (nahe Echtzeit) gelegt wurde. Die entwickelte Prozesskette wurde am Beispiel aktueller Hochwasserereignisse (England / Wales, Juli 2007; Mexiko, November 2007; Namibia, März 2008; USA, Juni 2008; Myanmar, Mai 2008, Australien, Februar 2009) jeweils auf der Grundlage von TerraSAR-X-Aufnahmen getestet. Die Tests und die Validierung der Prozesskette verliefen erfolgreich und zeigen, dass qualitativ hochwertige Ergebnisse unter Einhaltung der geforderten Zeitlichkeit erreicht werden können.

Zuverlässigkeit, Effektivität und Übertragbarkeit sind die Hauptziele, die während der Entwicklung des Hochwasserkartier-Werkzeuges verfolgt wurden. Für die Entwicklung des Verfahrens zur Hochwasserkartierung wurde eine objektbasierte Methode unter Berücksichtigung eines bestimmten Regelsatzes implementiert. Objektbasierte Klassifizierungsmethoden basieren auf der Extraktion von homogenen Segmenten eines Satellitenbildes sowie einer daran anschließenden Klassifizierung. Die Implementierung einer objektbasierten Methode in eine Regelsatz-Struktur bietet zahlreiche Vorteile für die Entwicklung eines derartigen automatisierten Prozesses. Zum einen nutzen objektbasierte Verfahren – im Gegensatz zu Pixelbasierten Verfahren – Textur, Form und Kontextinformationen einer Szene. Andererseits erlaubt die jeweilige Einstellung der Regelsätze den Aufbau einer Prozess-Hierarchie, in der die einzelnen Module je nach Anforderungen definiert und angepasst werden können. Es ist daher möglich, eine schrittweise Klassifikations-Annäherung durchzuführen sowie die einzelnen Module mit verschiedenen Graden der Automatisierung zu versehen. Insgesamt wurden drei aufeinanderfolgende Module entwickelt: Segmentierung, Extraktion (permanente Gewässerflächen [Normalwasser], überflutete Bereiche bei Hochwasser) und Verfeinerung. Während die Extraktion der Wassermaske ein halbautomatisiert ablaufender Prozess ist, sind die beiden anderen Module (Segmentierung, Verfeinerung) als automatisierte Prozesse implementiert. Die gesamte Prozesskette wird durch eine Benutzeroberfläche für den Operateur unterstützt (siehe folgende beiden Abbildungen).

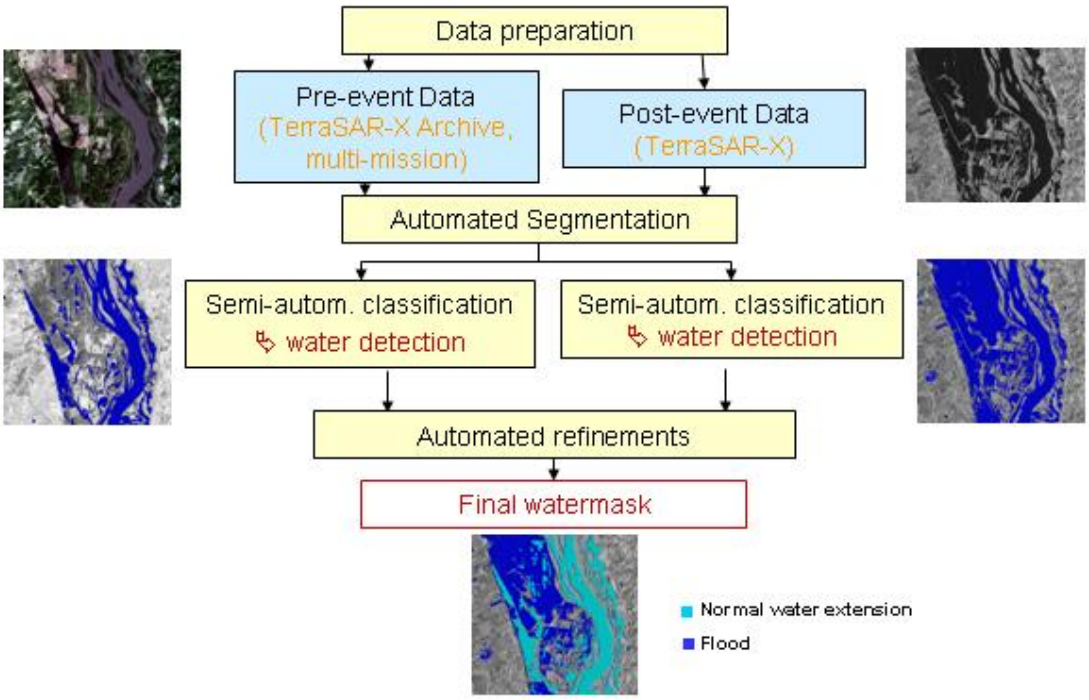

Abbildung 17: Arbeitsablauf Hochwasserkartierung

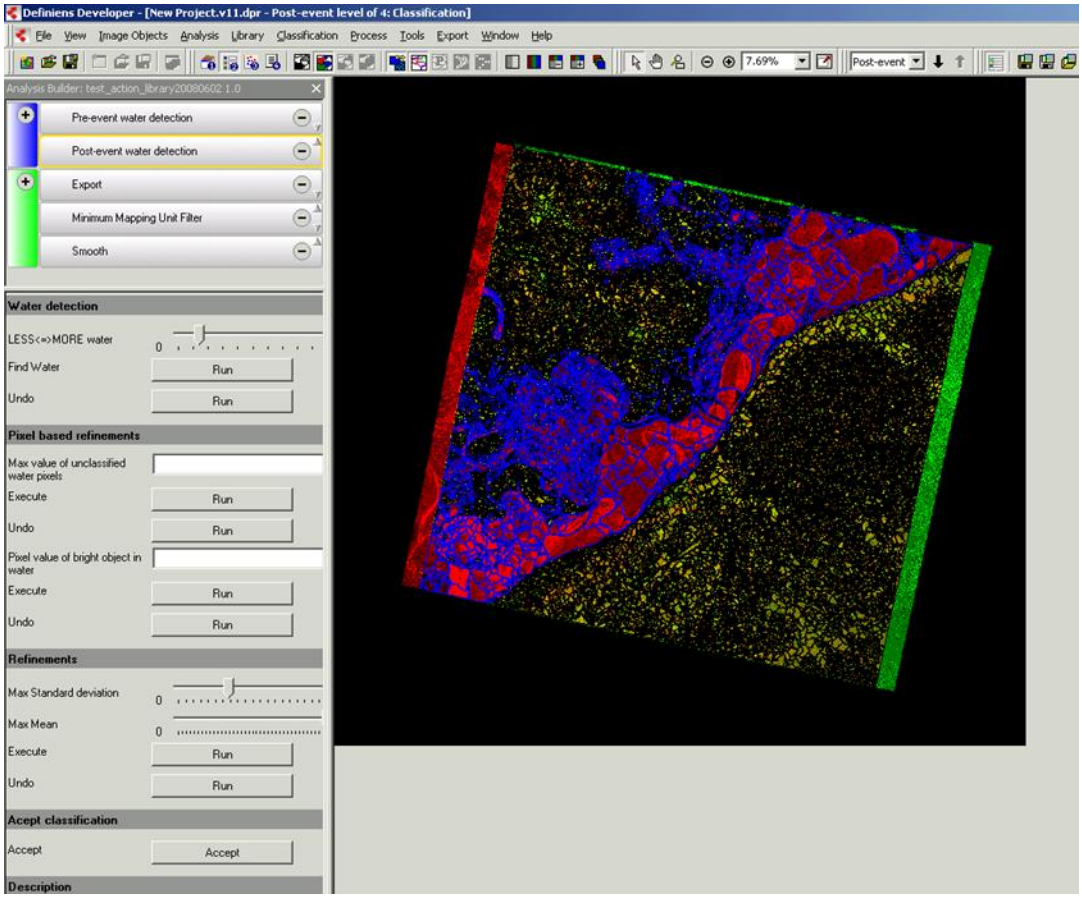

Abbildung 18: Benutzeroberfläche (GUI)

TerraSAR-X ist aus verschiedenen Gründen ein geeigneter Satellit für die Kartierung von Hochwasserereignissen. Dazu zählen nicht nur seine Wetter- und Beleuchtungsunabhängigkeit für die Datenakquisition, sondern auch die Charakteristik der Satellitenbilddaten wie zum

Beispiel hohe geometrische Auflösung, hohe Lagegenauigkeit, Multipolarisation sowie die Fähigkeit, Aufnahmen mit unterschiedlichen Einfallswinkeln zu akquirieren. Darüber hinaus kann jeder Punkt der Erdoberfläche zu 95 % innerhalb von maximal 2,5 Tagen erfasst werden, eine schnellere Auslieferung gegenüber dem Standardprozess ist – zunächst für Akquisitionen im Empfangsbereich über Europa – bereits implementiert (near real-time delivery). Die Kombination von TerraSAR-X Daten mit optischen Daten und in situ-Daten bieten neue Möglichkeiten für die Entwicklung von Geoinformationsdiensten und leistet somit einen wertvollen Beitrag zu einer effektiven Unterstützung des Katastrophenmanagements.

Das Hochwasser am Mississippi im Juni 2008 war das erste Testereignis für die Methodenentwicklung. Ausführlich behandelt wurde auch das Hochwasserereignis in Gulf Country in Australien (Februar 2009). Eine Übersicht dieser beiden Auswertungen ist den folgenden Abbildungen zu entnehmen.

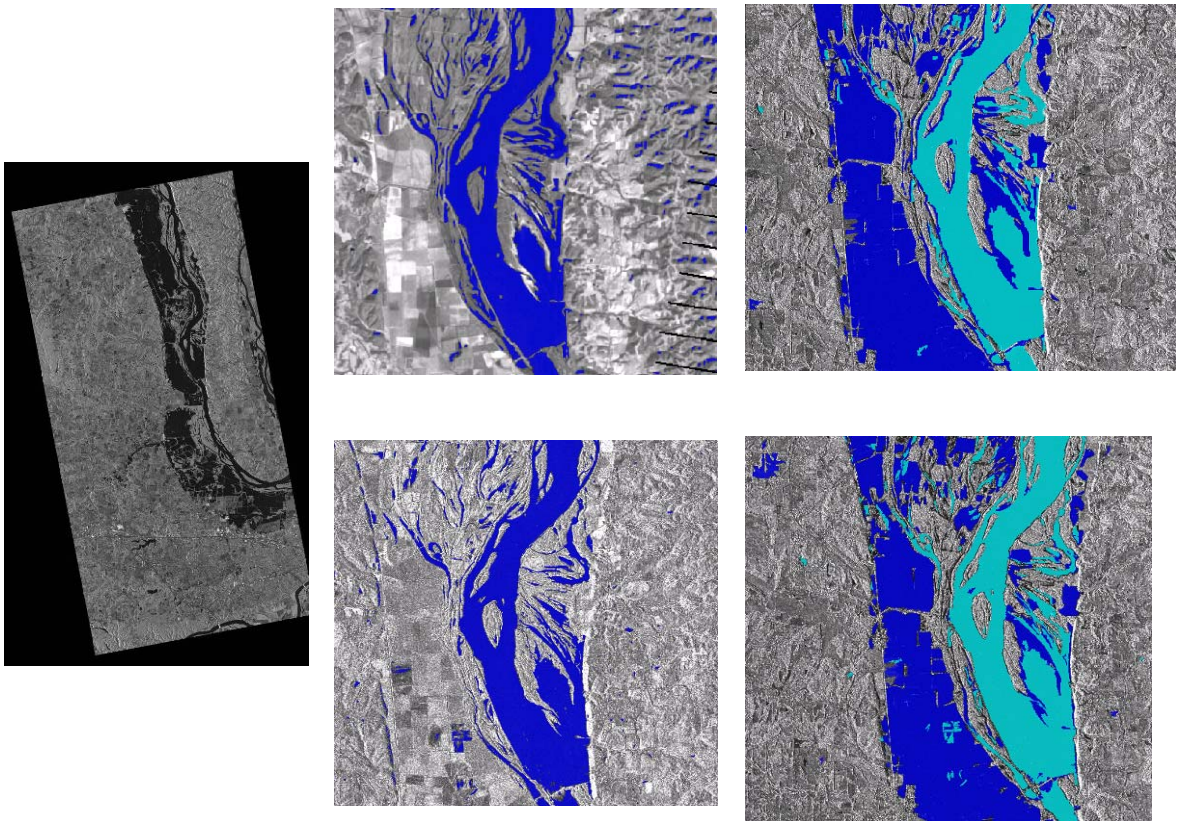

Abbildung 19: TerraSAR-X-Aufnahme Star City, Mississippi-Fluss, USA (links); halbautomatisierte, bi-temporale Kartierung permanenter Gewässerflächen auf der Basis von Landsat 7-Daten (Mitte); halbautomatisierte, bi-temporale Kartierung der überschwemmten Flächen (dunkelblau; Datengrundlage: TerraSAR-X), abgegrenzt gegenüber den permanenten Wasserflächen (türkis; rechts)

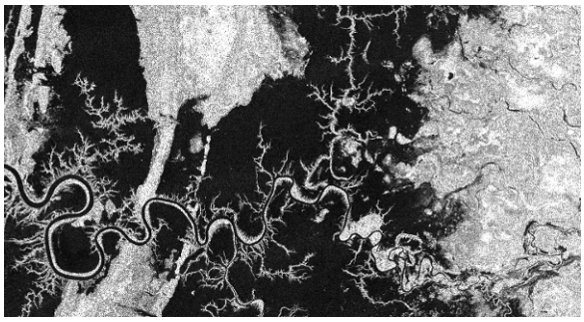

Abbildung 20: TerraSAR-X Aufnahme Gulf Country, Australien

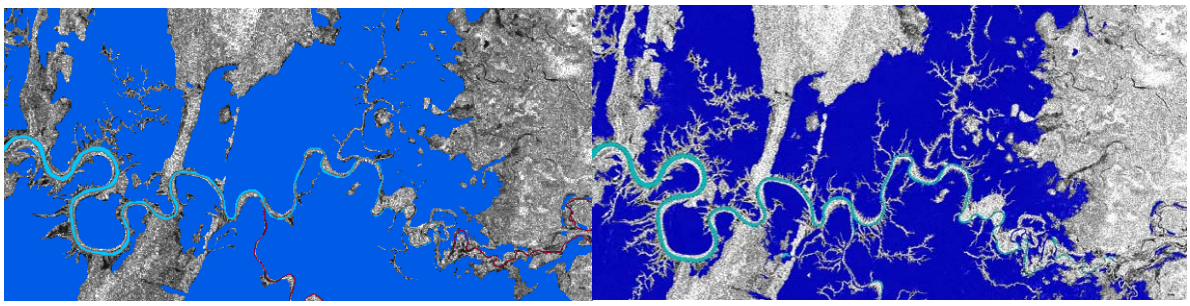

Abbildung 21: TerraSAR-X-basierte manuelle Hochwasserkartierung (links) und TerraSAR-X-basierte halbautomatisierte Hochwasserkartierung (rechts)

Neben diesen ausführlichen Untersuchungen gaben weitere kleiner Untersuchungen Aufschluss darüber, mit welcher Art von Daten im Katastrophenfall zu rechnen ist (Bestell- / Aufnahmeparameter, Datenqualität, atmosphärische Bedingungen [Regen, Wind], s. Abbildung unten). Diese Ergebnisse waren hilfreich im Hinblick auf eine kontinuierliche Verbesserung des Arbeitsablaufes.

Abbildung 22: Verteilung des Testgebieten TerraSAR-X-basierter Hochwasserkartierungen

Mit Erreichen der Zielsetzung „Erstellung eines robusten, flexiblen, effektiven und relativ einfach anzuwendenden Verfahrens“ wurde eine halbautomatisierte prä-operationelle Prozesskette zur Kartierung von Hochwasserereignissen im Katastrophenfall entwickelt - ergänzt durch eine benutzerfreundliche Schnittstelle zur einfacheren Anwendung.

Der finale Arbeitsablauf wurde für einige Überflutungsszenarien und in einem quasi-operationellen Test geprüft. Daraus ergaben sich die folgenden Erkenntnisse:

- Flächenmäßig große Bilder konnten problemlos prozessiert werden (30 x 50 km² [StripMap] bzw. 100 x 150 km² [ScanSAR])
- Die Robustheit der Prozesskette ist unter Verwendung verschiedener Datenquellen geprüft worden (z. B. Mississippi-Hochwasser: TerraSAR-X-Daten, 3 m Auflösung und Landsat 7 ETM+-Daten, 30 m Auflösung)
- Anpassungsfähigkeit und Flexibilität des Arbeitsablaufes wurden für verschiedene Szenarien getestet und dokumentiert

Im Rahmen der Validierungsaktivitäten und dem Vergleich von manuellen Auswertungen mit den Ergebnissen der halbhautomatischen Prozessierung konnten die folgenden Erkenntnisse erzielt werden:

- Die Prozessierung einer kompletten Szene nach dem entwickelten Verfahren erforderte fünfmal weniger Arbeitszeit als die manuelle Abgrenzung des überfluteten Bereiches
- Die erstellten Hochwassermasken (manuell vs. halbautomatisch) waren von vergleichbarer Qualität; bei der abschließenden Verfeinerung des halbautomatischen Kartierergebnisses war es vereinzelt erforderlich, „überschwemmte Bereiche“ gegenüber Schattenbereichen zu verifizieren / falsifizieren
- Überflutungsfläche können selbst dann mit hoher Genauigkeit abgeleitet werden, wenn keine TerraSAR-X Archiv-Daten vorhanden sind

4.1.3 Kartierung von Veränderungen der Erdoberfläche durch Erdbeben und Überschwemmungen anhand von RapidEye Satellitenbilddaten

Für die Erfassung und Kartierung von Veränderungen der Erdoberfläche durch Erdbeben und Überschwemmungen anhand von RapidEyeSatellitenbilddaten wurden durch Verarbeitungsverfahren seitens RapidEye entwickelt und erfolgreich angewendet.

Die entwickelten Verfahren wurden für mehrere Überflutungsereignisse in Deutschland (Dessau 2002, Sachsen 2006) und international (USA 2008, Namibia 2009 und 2010) eingesetzt. Veränderungen aufgrund von Erdbeben bzw. Hangrutschungen wurden 2008 in Pakistan sowie 2009 in Kirgisien kartiert. Im Februar 2010 konnte an der chilenischen Küste sowohl Erdbeben- wie Tsunami-bedingte Veränderungen kartiert werden (s. Abbildung 23).

Abbildung 23: Anwendung der RapidEye Veränderungskartierung. Erdbeben/Tsunami in Chile anhand Aufnahmen vom 22.01. und 27.02.2010. Orange: Veränderungsflächen die von Überschwemmungen und Erdbebeneffekten/ Rutschungen beeinflusst wurden. Darstellung in GoogleEarth

Satellitenbilder der RapidEye-Konstellation waren erst nach deren Start im August 2008 verfügbar. Daher wurden im Vorfeld auf entsprechend angepasste Daten bereits verfügbarer Satellitensystemen eingesetzt.

4.2 Automatisierte und Interpretengestützte Auswerteverfahren mit dem Schwerpunkt der Schadensdetektion

4.2.1 Schnelle und Interpretengestützte Klassifikation optischer Satellitenbilder

Das Ziel dieser Arbeit des DLR-DFD war die Entwicklung und prototypische Implementierung eines allgemeinen Rahmenwerkes von Methoden, welches eine zeitnahe interaktive (Vor-) Klassifikation von hochauflösenden optischen Satellitenbildern für Notfall- und Krisenkartierungen und darüber hinaus auch anderen Anwendungen ermöglicht. Die großflächige Klassifikation der Landbedeckung sowie von verbrannten oder überfluteten Flächen stellen Beispiele für Klassifikationsergebnisse dar, welche direkt für die Erstellung digitaler oder analoger Informationsprodukte verwendet werden können. Eine schnelle Vorklassifikation einer Szene (z.B. die Ausweisung aller Bildelemente, welche versiegelte Flächen repräsentieren) kann hingegen als Zwischenergebnis für weitere automatisierte oder semiautomatische Analyseschritte herangezogen werden.

Das Hauptaugenmerk bei der Entwicklung lag bei der Schnelligkeit und der Anwendbarkeit des Ansatzes auf verschiedene Bildprodukte sowie unterschiedlichste Bildinhalte und thematische Fragestellungen. Um den individuellen Anforderungen hinsichtlich Schnelligkeit und räumlicher Genauigkeit gerecht zu werden, wurde das Problem der Klassifikation einzelner Pixel in eine Klassifikation einfacher quadratischer Bildelemente umformuliert. Für die wahrscheinlichkeitsbasierte Zuordnung der Bildelemente zu thematischen Klassen wurde ein sog. Bayes´scher Ansatz gewählt, wodurch ein natürlicher Rahmen für die Integration sowohl von statistischer Bildmodellierung als auch von Vorinformation bezüglich der kontextuellen Struktur der thematischen Klassen gegeben ist. Die kontextuelle Struktur wird hier mittels Markov-Zufallsfeldern (MRF) modelliert, wobei sowohl räumliche als auch hierarchische Kontextinformation einbezogen wird.

In der folgenden Abbildung ist der Ablauf der Klassifikation schematisch dargestellt. Zu Beginn des interaktiven Analyseprozesses liegt lediglich das Satellitenbild selbst vor.

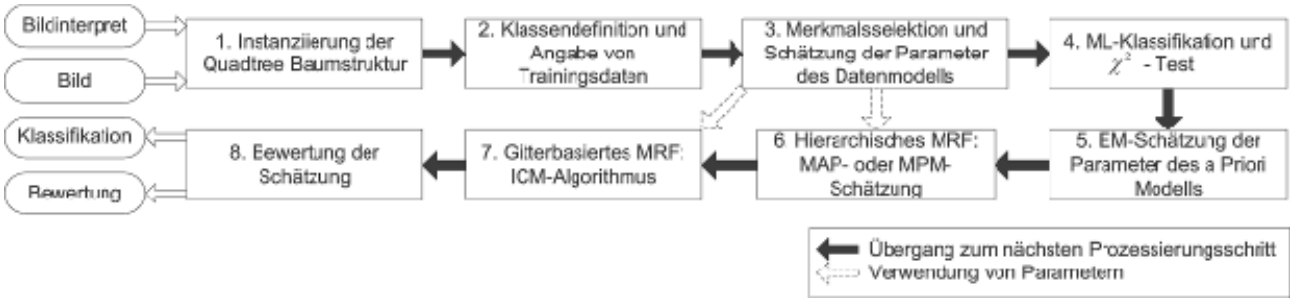

Abbildung 24: Schematischer Ablauf der Bildprozessierung

Darüber hinaus ist der Bildinterpret für die Steuerung der wie folgt ablaufenden Klassifikation erforderlich:

1. Durch die rekursive Aufteilung des Bildes in immer kleinere quadratische Bildelemente wird eine hierarchische Baumstruktur erstellt. Entscheidende Vorteile dieser Struktur sind die schnelle Erstellung dieser als auch die exakte und nicht-iterative Klassifikation.
2. Die Definition beliebiger thematischer Klassen kann in beliebigen Skalenbereichen (Quadtree-Ebenen) erfolgen. Für jede Klasse müssen Trainingsdaten durch den Interpreten bereitgestellt werden.
3. Die thematischen Klassen werden mittels eines Datenmodells, welches aus den Trainingsdaten gelernt wird, parametrisiert.
4. Basierend auf dem Datenmodell erfolgt eine lokale Klassifikation der Bildelemente, wobei durch einen statistischen Test Fehlklassifikationen vermieden werden.
5. Die kontextuellen hierarchischen Relationen werden auf der Grundlage des zuvor bestimmten Klassifikationsergebnisses geschätzt (a Priori Modell).

6. Die hierarchische Schätzung der Klassenzugehörigkeiten der Bildelemente erfolgt mittels der Maximum A-Posteriori- (MAP) und der Mode of Posterior Marginals-Schätzung (MPM). Hier werden die beiden zuvor gelernten Modelle kombiniert.
7. Eine Verbesserung des Ergebnisses kann durch den Einbezug räumlicher Kontextinformation bezüglich der feinsten Hierarchieebene bewirkt werden.
8. Eine Entropiekarte drückt für jedes Bildelement die Sicherheit der Klassifikation aus und kann als Indikator für wahrscheinlich falsch klassifizierte Bildbereiche herangezogen werden.

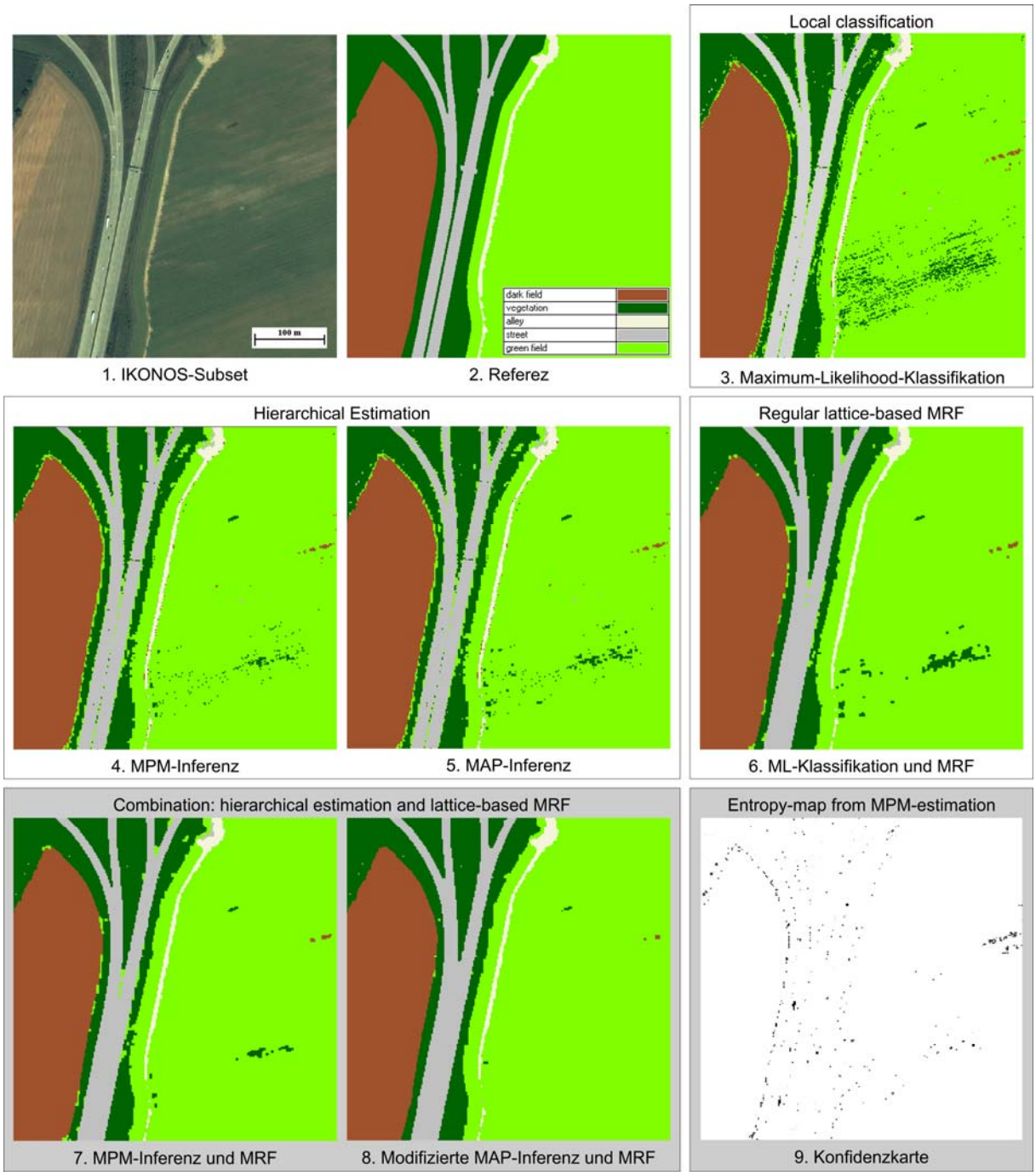

Abbildung 25: Beispiel Bildprozessierung.

Neben den herkömmlichen Schätzverfahren in Schritt 6 wird eine modifizierte Schätzmethode vorgeschlagen, wobei „unsichere Information“ des Datenmodells nicht in den Klassifikationsprozess einbezogen wird. Vor Allem bei Bildelementen mit Mischklassen werden auf diese Weise Fehlklassifikationen verringert.

Am DLR-DFD wurde ein allgemeines Rahmenwerk zur interaktiven Klassifikation von hochauflösenden optischen Satellitenbildern erarbeitet, getestet und prototypisch implementiert. Der methodische Schwerpunkt liegt bei der Zusammenführung von Bildinformation aus verschiedenen Abstraktionsebenen und sowohl räumlicher als auch hierarchischer Kontextinformation mittels Markov-Zufallsfelder. Die Methode ist insbesondere auf die Rahmenbedingungen bei Notfall- und Krisenkartierungen abgestimmt, so dass eine rasche Bildanalyse auch unabhängig von Zusatzinformation (z.B. Vektordaten oder digitale Höhenmodelle) erfolgen kann. Daher ist dieses Rahmenwerk auch für andere Anwendungen geeignet.

4.2.2 Objektdetektion mit Hilfe automatisch generierter Objektmodelle

In der automatischen Bildanalyse dienen Objektmodelle der Erkennung von Bildbereichen, in denen eines oder mehrere Objekte einer gesuchten Objektklasse enthalten sind. Dabei übernehmen die Objektmodelle die Aufgabe, das gesamte, aktuell verfügbare Wissen hinsichtlich der Erscheinung dieser Objektklasse zusammenzufassen und geeignet zu repräsentieren. Auch für die Extraktion von Objektklassen aus Fernerkundungsbilddaten werden anstelle einer pixelbasierten Analyse in zunehmendem Maße Objektmodelle eingesetzt.

Je nach Aufgabenstellung existiert dabei eine mehr oder weniger detaillierte Vorstellung von dem zu erwartenden Erscheinungsbild einer Objektklasse in den Bilddaten. Aus diesem Grund müssen die Modelle meist für jede Aufgabe neu formuliert oder zumindest angepasst werden. Dabei werden die für die jeweilige Objektklasse besonders markanten Bildmerkmale extrahiert und klassifiziert. Einfache Beispiele für klassenspezifische Bildmerkmale sind parallel verlaufende Bildkanten für Straßen, rechtwinklig verlaufende Bildkanten für Gebäude und bestimmte Farb- bzw. Vegetationsmerkmale für verschiedene Vegetationsformen. Dieser Modellierungsprozess ist jedoch zeitaufwendig und das Ergebnis hängt stark von der Qualität des vorhandenen Expertenwissens ab.

Das Ziel der Arbeiten an der TU Berlin war es, den Modellbildungsprozess auf der Basis repräsentativer Trainingsbeispiele zu automatisieren. Dabei bestand die Hauptaufgabe in der Entwicklung von Methoden zur Ableitung statistischer Beschreibungen des Erscheinungsbildes der Trainingsbeispiele. Hierzu wurden Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens, insbesondere der statistischen Analyse von Textdokumenten eingesetzt.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit solcher Verfahren ist eine geeignete Repräsentation der Bildinformation durch sogenannte visuelle Wörter, welche ein Alphabet aus Bildmerkmalen aufbauen. Die Ableitung der visuellen Wörter erfolgt mit Hilfe von generischen Bildmerkmalen, d.h. lokalen Punktoperatoren (SIFT-Features) und im Fall multispektraler Daten zusätzlichen Farb- sowie Vegetationsmerkmalen. Eine derartige Darstellung erlaubt die Erfassung von lokal dominanten Bildkanten und Texturen unabhängig von der Objektausrichtung und soll den umfangreichen Anwendungsanforderungen gerecht werden.

Die Definition der Trainingsobjekte erfolgt durch Verknüpfung einer Vorsegmentierung mit den objektbeschreibenden GIS-Daten. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine schematische Auflistung des Prozessablaufs sowohl für die Objektmodellgenerierung als auch die Modellanwendung im Rahmen einer Objektkategorisierung.

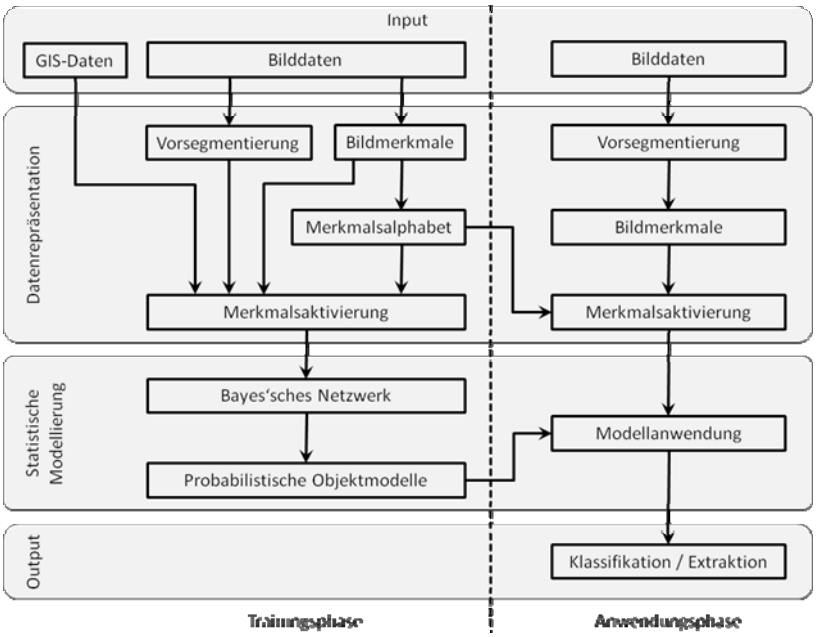

Abbildung 26: Schematische Darstellung der Modellgenerierung sowie der Anwendung

Die eigentliche Modellbildung erfolgt mit Hilfe eines Bayes'schen Netzwerks, welches die Erscheinungshäufigkeiten der unterschiedlichen visuellen Wörter für die jeweilige Objektklasse als statistischen Prozess, d.h. mit Hilfe hierarchisch organisierter Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellt. Ziel des Lernverfahrens ist es, durch sukzessive Anpassung der Parameter der Verteilungen, die Wahrscheinlichkeiten für die in den Trainingsdaten aktivierten Merkmale zu maximieren. Die hierarchische Struktur wirkt dabei einem Auswendiglernen der verwendeten Trainingsdaten entgegen.

Für die Anwendung der abgeleiteten Objektmodelle wird die Bildinformation zunächst in der gleichen Form wie im Training repräsentiert. Unter Verwendung der aktivierten Merkmale und der für jede Objektklasse erlernten Merkmalswahrscheinlichkeiten erfolgt für jedes Segment die Ableitung von a posteriori Klassenwahrscheinlichkeiten. Die abschließende Klassifikation bzw. Extraktion der Objektklassen wird durch die Vorgabe von Schwellwerten erreicht. Durch Anwendung des entwickelten Systems auf verschiedene Objektklassen (Feld, Gebäude, Gewässer, Straße, Vegetation) konnte gezeigt werden, dass

1. der in den Trainingsdaten enthaltene Zusammenhang von den Objektklassen und Merkmalserscheinung erfasst werden kann,
2. sich diese Zusammenhänge auf Objekte außerhalb der Trainingsdatenmenge generalisieren lassen.

Die folgende Abbildung zeigt Ergebnisse einer exemplarischen Anwendung automatisch abgeleiteter Objektmodelle für die Objektklassen Feld, Gewässer, Wald und Straße. Dargestellt sind sowohl die Extraktionsergebnisse als auch die über die Grauwertintensität repräsentierten Klassenwahrscheinlichkeiten. Die Zahl der Fehlklassifikationen ist erkennbar gering. Die Klassenwahrscheinlichkeiten belegen eine überwiegend hohe Klassifikationssicherheit. In verschiedenen Anwendungen wurde für die Objektklassen Feld, Gebäude, Gewässer, Straße, Vegetation und Background eine durchschnittliche Erkennungsrate von ca. 80 % erzielt.

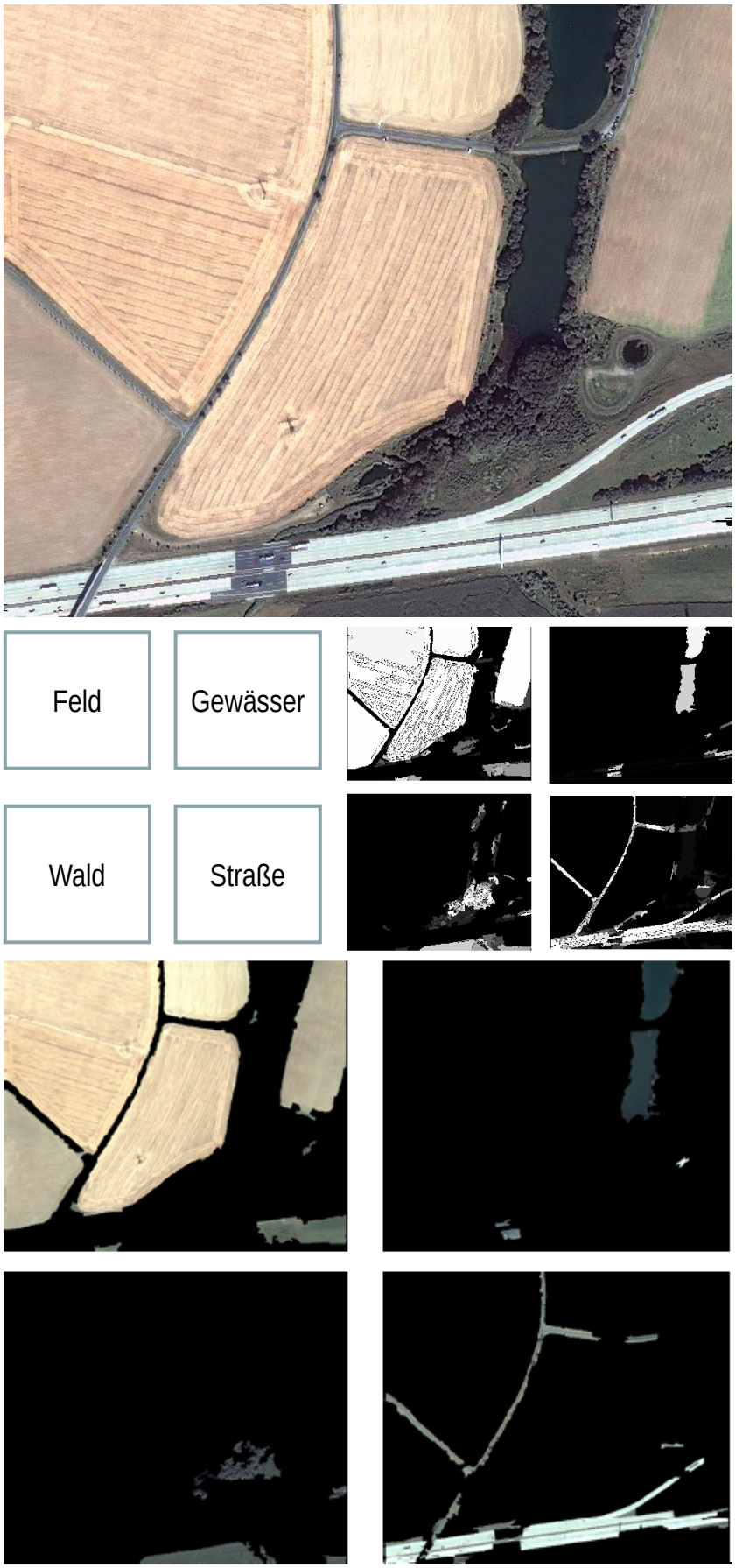

Abbildung 27: Abgeleitete Klassenwahrscheinlichkeiten und Extraktionsergebnisse für verschiedene Objektmodelle

4.3 Semi-Automatische Lineamentextraktion und Netzbildung mit dem Schwerpunkt der Straßenextraktion

Aufgabe der TU München war im Rahmen von DeSecure die Entwicklung von Werkzeugen zur Extraktion linearer Strukturen. Die wichtigsten linearen Objekte sind im Hinblick auf einen Katastrophenfall Straßen, da sie die zentrale Infrastruktur für Hilfsmaßnahmen darstellen. Weiterhin ist durch die Fokussierung auf Straßen auch mit Blick auf andere Aufgabenstellungen, z.B. die Validierung und Fortführung von GIS-Daten, ein Mehrwert zu erwarten. Die Grundkonzeption der Entwicklungen ist generisch gehalten, so dass sie für andere lineare Objekte adaptiert werden kann. Der Schwerpunkt der durchgeführten Arbeiten kann in zwei Teilaspekte unterteilte werden. Zum einen die methodische Entwicklung von automatischen Extraktionsalgorithmen von linearen Objekten und zum anderen die Entwicklung eines generischen Systems zur Schadensbewertung von linearen Objekten nach Naturkatastrophen. Sowohl die Straßenextraktion als auch das System zur Schadensbewertung wurden mit interaktiven Komponenten erweitert.

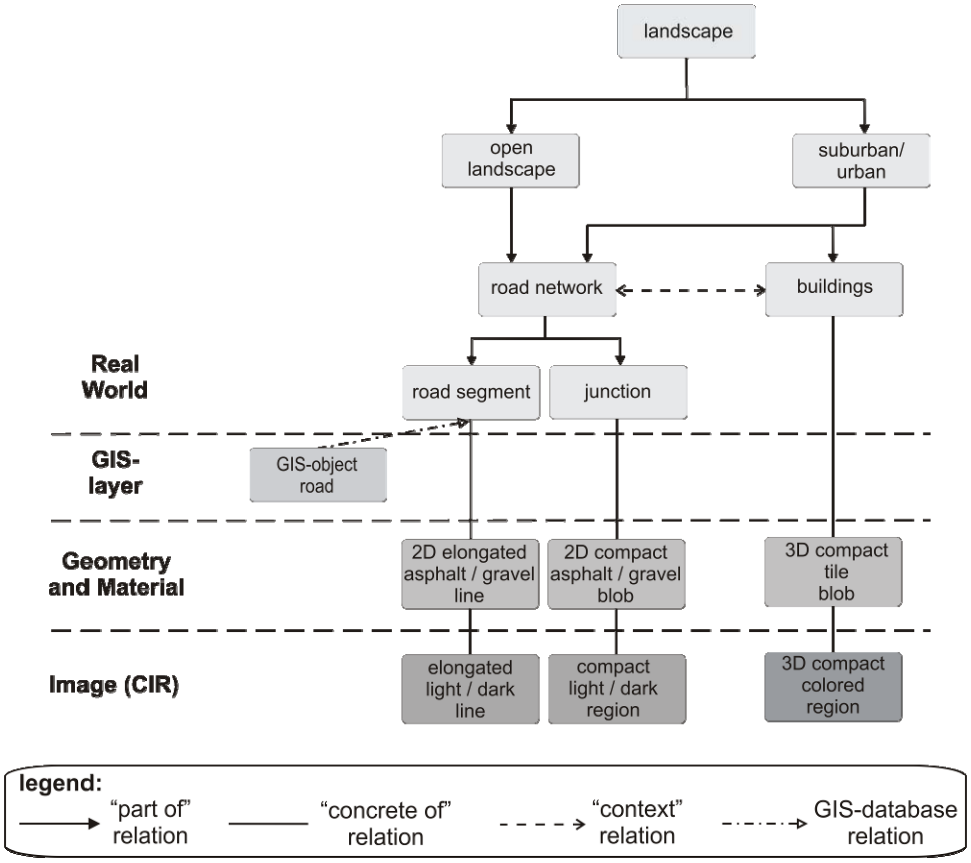

Abbildung 28: Semantisches Modell für die Straßenextraktion

Die automatische Extraktion von Straßen basiert auf einem semantischen Modell, das Wissen über das Erscheinungsbild von Straßen in der realen Welt und im Bild darstellt (s. Abbildung 28). Zusätzlich können Objekte aus einem GIS integriert werden, um z. B. Vorwissen über Straßenobjekte auszunutzen. Des Weiteren sind Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten von Interesse, da Gebäude in der Regel neben Straßen zu finden sind. Die auf der Grundlage des semantischen Modells entwickelten Algorithmen wurden mit Interaktionsmöglichkeiten des Nutzers optimiert. Die Ergebnisse der semi-automatischen Verfahren zeigen, dass in ländlichen Räumen über 90 % aller Straßen extrahiert werden konnten. Jedoch besteht bei den Extraktionsalgorithmen die wesentliche Einschränkung, dass keine Rückschlüsse auf Straßen gezogen werden können, die im Bild entweder verdeckt (Vegetation, Wolken) oder durch eine Naturkatastrophe nicht befahrbar (Straßen überschwemmt, Brücke eingestürzt) sind. Damit eine Befahrbarkeitsanalyse eines kompletten Straßennetzes

durchgeführt werden kann, bietet es sich an, vor der Katastrophe vorhandene Vektordaten in das System zu integrieren.

Um diese Einschränkung zu kompensieren, konzentrierte sich die weitere Aufgabenstellung auf die Schadensbewertung von Straßen, die aus einem GIS als Zusatzinformation zur Verfügung stehen. Ein wesentliches Charakteristikum des Gesamtsystems ist die Anpassungsfähigkeit an die zur Verfügung stehenden Eingangsdaten. Eine schematische Darstellung des gesamten Systems zur Schadensbewertung ist in der folgenden Abbildung aufgezeigt. Die grauen Rechtecke visualisieren die verfügbaren Inputdaten. Mit Hilfe von unterschiedlichen Methoden wie Change Detection, Gaussian Mixture Models, Threshold Methods und Belief Functions werden Wahrscheinlichkeiten für die Funktionalität von Infrastrukturobjekten abgeleitet, die anschließend miteinander kombiniert werden. Eine Maximum-Likelihood-Klassifikation führt zu der Kategorisierung der Objekte in *intakte*, *vielleicht intakte* und *nicht intakte* Straßen.

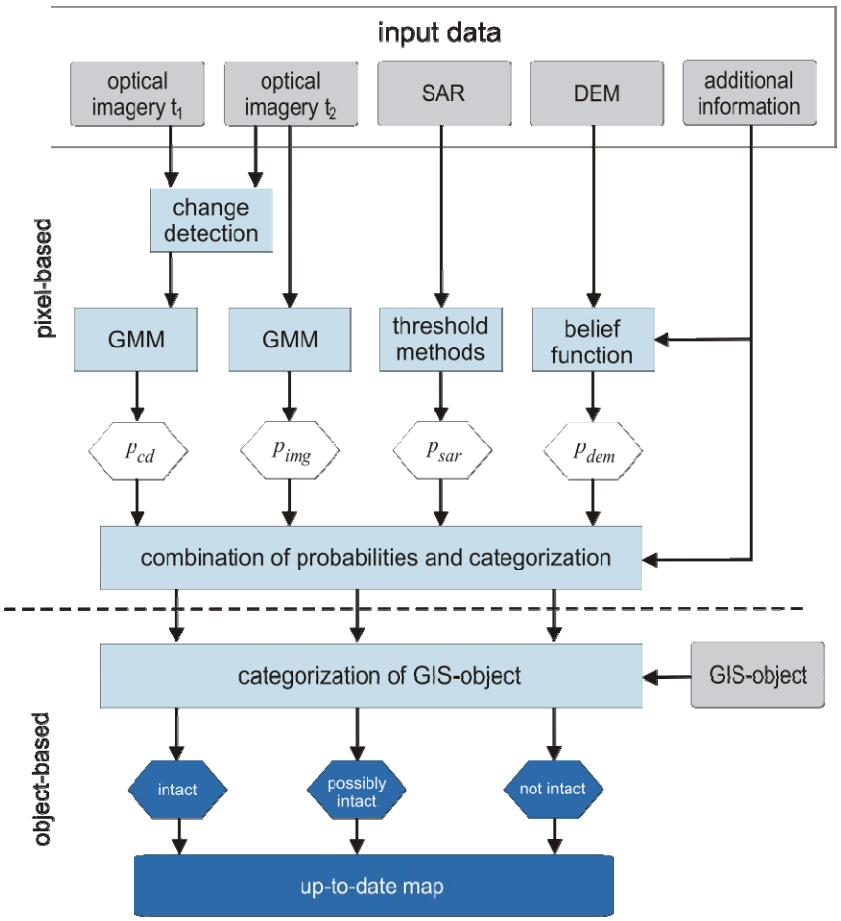

Abbildung 29: Schematische Darstellung des Systems zur Schadensbewertung

Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit des Systems ist, dass aktuelle Straßeninformationen als Vektordaten zur Verfügung stehen. Diese Bedingung kann, wie in Abbildung 29 zu sehen ist, zu Problemen führen, da die vorhandenen Daten entweder veraltet oder nicht die benötigte geometrische Genauigkeit aufweisen.

In Abbildung 30 ist das Ergebnis des Systems zur Schadensbewertung für das Testgebiet in Namibia dargestellt. Die Straßen sind in vier verschiedene Schadenskategorien unterteilt:

1. Die Straße ist befahrbar (grün)
2. Die Straße ist überflutet (rot)
3. Die Straße ist vielleicht befahrbar (gelb)
4. Die Straße war befahrbar und ist aktuell überflutet (blau)

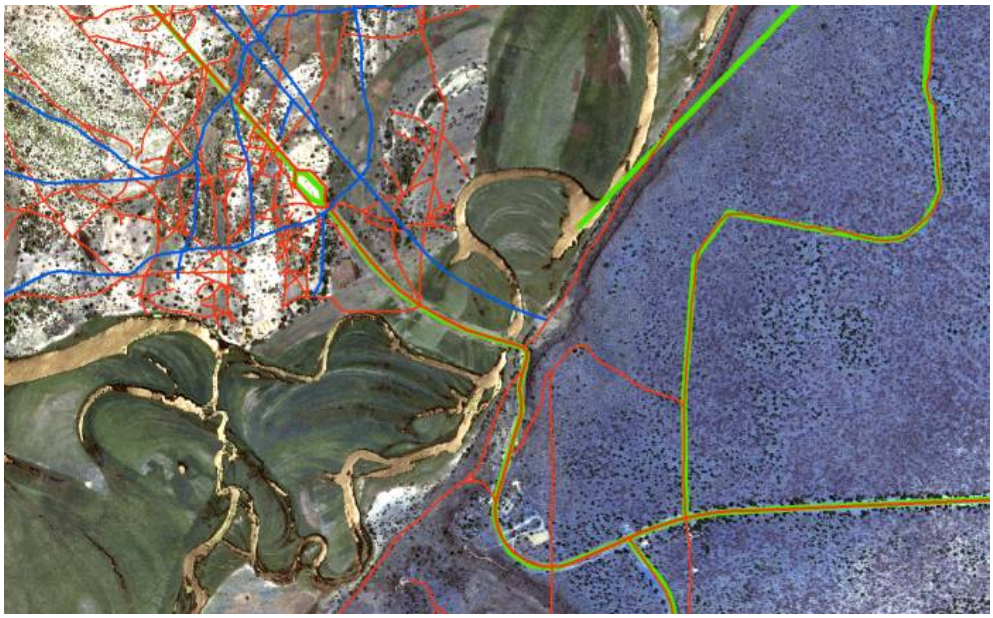

Abbildung 30: Verfügbare Straßendaten für das Testgebiet Namibia; rot: Manuell erstellte Referenz; grün: OpenStreetMap; blau: Datenbestand von öffentlichen Trägern

Die Information für die vierte Schadenskategorie (blau) wird aus dem Ergebnis des verwendeten Change Detection Algorithmus entnommen. Mit Hilfe dieser Kategorie können die Veränderungen der Befahrbarkeit von Straßennetzen erkannt werden. Die dritte Kategorie (gelb) ist Grundlage für weitere nutzeroptimierte Interaktionsmethoden.

Da im Anwendungsfall die dritte Kategorie (gelb) nicht erwünscht ist, wurde ein semi-automatisches System entwickelt, dass eine vollständige Zuordnung der Straßen in befahrbare und überflutete Straßen zulässt. Sobald das automatische System bei einer Bewertung „unsicher“ ist, wird das Programm gestoppt und zeigt das nicht zuzuordnende Straßensegment in einem Graphikfenster hinterlegt mit der Bildinformation an. Mit „unsicher“ soll ausgedrückt werden, dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Segment zu einer Kategorie gehört, einen vorher festgelegten Schwellwert nicht überschreitet. Hier erfolgt die Interaktion des Nutzers, in dem er anhand der Bildinformation manuell eine Zuordnung treffen kann. Nach der Eingabe der Entscheidung läuft das System weiter bis das nächste „unsichere“ Segment auftritt. Dieser Ablauf wiederholt sich bis das ganze vorhandene Straßennetz abgearbeitet ist.

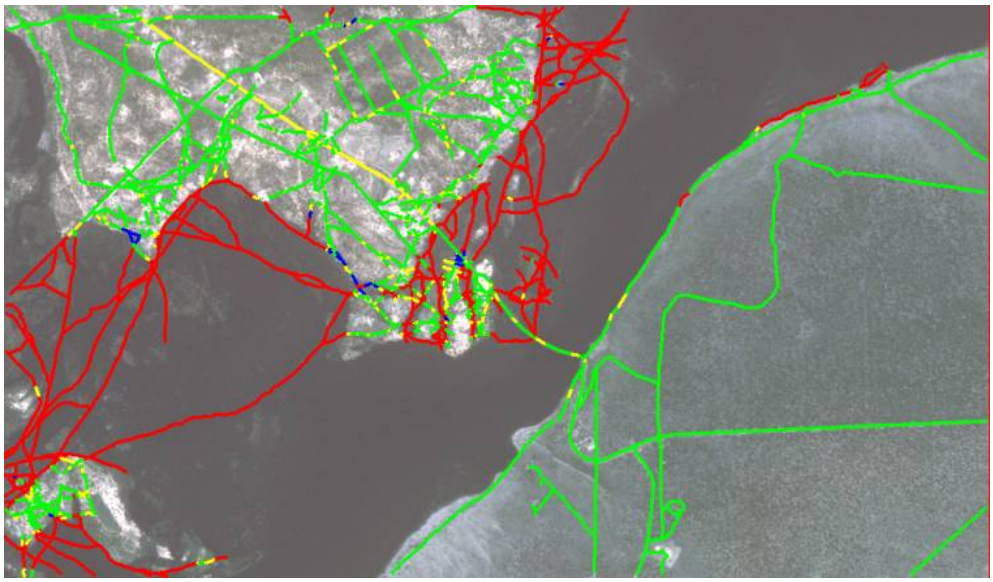

Abbildung 31: Ergebnis des Klassifikationssystems: rot: überflutete Straßen; grün: befahrbare Straßen; gelb: vielleicht befahrbare Straßen; blau: Straßen, die zum Zeitpunkt t1 befahrbar und zum Zeitpunkt t2 überflutet waren

Eine numerische Evaluation der Ergebnisse und die Verbesserung durch die Einbindung weiterer Eingangsdaten ist in Tabelle 1 zu sehen. Die erste Spalte zeigt das Ergebnis, falls nur das Bild zum Zeitpunkte t_2 verwendet wird. Bei der Einbettung eines DGMs in das Gesamtsystem, kann das Ergebnis leicht verbessert werden. In Spalte 3 sind die Ergebnisse dargestellt, in der die zusätzliche Information eines weiteren Bildes zum Zeitpunkt t_1 verwendet wurde. Diese Information besteht zum einen aus der Klassifikation der Straßen in Bild zum Zeitpunkt t_1 und zum anderen aus dem Ergebnis des Change Detection Algorithmus.

	t_2	t_2, *DEM*	$t_{1,2}$, *DEM*
Korrekt	76.78 %	77.68 %	78.76 %
Man. Kontrolle	22.21 %	21.33 %	20.23 %
Falsch	1.01 %	0.99 %	1.01 %

Tabelle 1: Ergebnis und Evaluierung des Gesamtsystems (Beispieldatensatz Namibia)

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Ergebnisse der oben dargestellten Arbeiten zur Informationsextraktion gemessen am internationalen Stand der Technik sehr fortschrittlich sind. Dies wird auch dadurch belegt, dass die ISI-geführte Zeitschrift „Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation“ den Arbeiten des DeSesure-Verbundes ein Sonderheft widmet (Heft 06/10). Trotz der Fortschritte muss aber konstatiert werden, dass mit zunehmender Komplexität des Bildinhaltes v.a. die vollautomatisch abgeleiteten Ergebnisse weniger gut ausfallen als z.B. in offener Landschaft oder weniger dicht besiedelten Gebieten. Mit Blick auf einen möglichen operationellen Einsatz zeigen die Entwicklungen, dass nichtsemantische Aufgaben wie Vorverarbeitung der Bilder, Ko-Registrierung, 3D-Verfahren etc. hocheffizient und vollautomatisch gelöst werden können. Die volle Praxistauglichkeit von semantischen Aufgaben, wie die automatische Objektrekonstruktion, -charakterisierung oder die Veränderungsdetektion von Objekten, ist nur durch die Integration von semiautomatischen Komponenten innerhalb eines computergestützten Systems in Sicht ist. Doch auch hier ist noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf identifiziert. Besonderer Fokus sollte auf der Nutzerfreundlichkeit des Gesamtsystems liegen. Momentan können die entwickelten Systeme vorwiegend von Fachleuten bedient werden, doch eine adäquate Nutzerführung bei der Initialisierung, Prozessierung und Qualitätskontrolle muss noch erheblich verbessert werden, um volle Praxistauglichkeit zu erlangen.

5 Standardisierte und Optimierte Bereitstellung von satellitengestützten Kriseninformationsprodukten

Kriseninformationen werden dem Nutzer am Ende der Produktionskette in entsprechenden Produkten bereitgestellt. Diese müssen für den Nutzer nicht nur verfügbar und auffindbar sein, sondern die benötigte Information ist dem Nutzer möglichst einfach, in benötigter Detailschärfe und der für Ihn am besten geeigneten Form (z.B. analog vs. digital) bereitzustellen. Im Rahmen von DeSecure wurden diesbezügliche Arbeiten zur standardisierten und optimierten Bereitstellung satellitengestützter Kriseninformation durchgeführt. Die hier in DeSecure erfolgten (Weiter-)Entwicklungen im Bereich der Standardisierung der Darstellung in Karten, der Optimierung und Weiterentwicklung der digitalen Bereitstellung von krisenrelevanter Information sowie der Optimierungen zur Verfügbarkeit und/oder Auffindbarkeit der bereitgestellten Information werden in den folgenden Kapiteln zusammenfassend dargestellt.

5.1 Standardisierung der Bereitstellung von Kriseninformationen in Karten

Im Bereich der Standardisierung der Bereitstellung von Kriseninformationen in Karten wurden in DeSecure ein Leitfaden zur Integration taktischer Zeichen in Karten des ZKI sowie ein Leitfaden zur Standardisierung der thematischen Kartenerstellung am DLR-DFD entwickelt. Diese werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Leitfaden zur Integration taktischer Zeichen in Karten des ZKI

In einer **Machbarkeitsanalyse** werden zunächst die taktischen Zeichen nationaler sowie internationaler Akteure recherchiert und analysiert sowie die Möglichkeiten zur Integration in Karten des ZKI diskutiert und aufgezeigt. Die Vielfalt der im Bereich ziviler Kriseninformation international tätiger Akteure bedingt eine ebensolche Vielfalt an taktischen Zeichen. In der BRD haben sich alle großen Akteure im Bereich ziviler Kriseninformation auf ein System taktischer Zeichen geeinigt. Dieses folgt einem logischen Aufbau (siehe Abbildung 1). In dem entwickelten Leitfaden werden zwei Wege zur Integration dieser bundesdeutschen taktischen Zeichen aufgezeigt: Ein Weg besteht im Design einzelner Symbole (z.B. relativ häufig verwendeter) und der Integration dieser über sogenannte Style Sheets in die entsprechende GIS Software am ZKI. Die taktischen Zeichen stehen so für die manuelle Integration in Karten des ZKI zur Verfügung. Eine weitere Möglichkeit existiert über die automatische Generierung der taktischen Zeichen auf Basis attributiver Information. Hierfür wird jedoch sehr detaillierte attributive Information benötigt. Diese liegt in der Regel jedoch nicht vor und kann zum großen Teil auch nicht aus Satellitendaten erfasst werden. Aus diesem Grund wird die manuelle Integration als praxisnahe und machbarste Lösung angesehen.

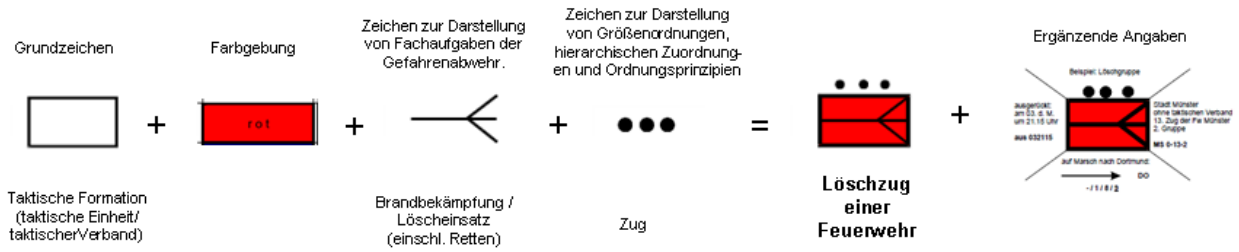

Abbildung 32: Prinzip der Zusammenstellung eines taktischen Zeichens am Beispiel Löschzug

Auf Basis dieser Machbarkeitsanalyse sind in einem **Leitfaden** die für eine manuelle Integration notwendigen Arbeitsschritte detailliert beschrieben. In großen Teilen wurden diese bereits umgesetzt. So wurden taktische Zeichen, die nach Erfahrungen des ZKI häufig im Kontext ziviler Krisen benötigt werden, in sog. Stylesheets implementiert. Diese stehen so im ZKI für die Kartenproduktion im GIS (siehe Abbildung 2) zur Verfügung und können auf Nutzeranfrage in entsprechende Karten integriert werden.

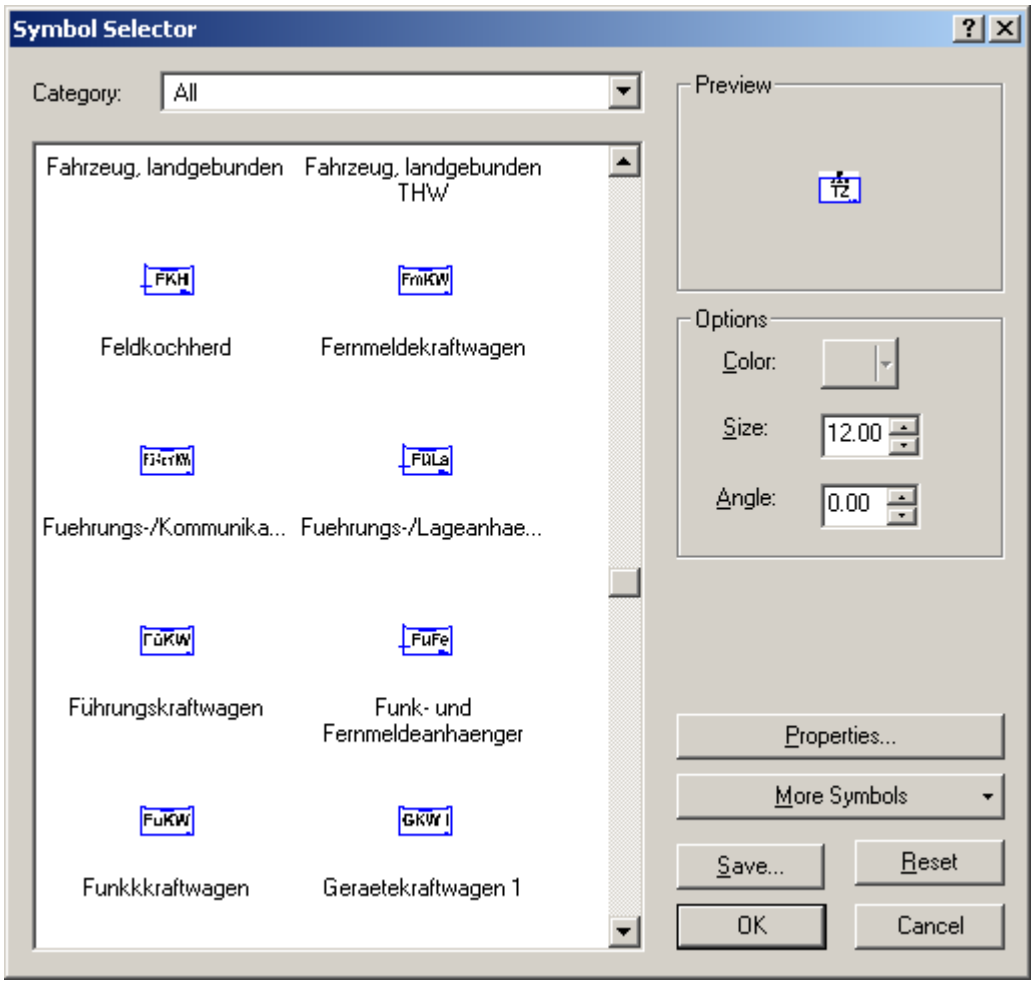

Abbildung 33: In das GIS ArcMap integrierte taktische Symbole der nationalen Akteure

Leitfaden zur Standardisierung der thematischen Kartenerstellung

Mit der Standardisierung der thematischen Kartendarstellung werden im Kontext der Bereitstellung satellitengestützter Kriseninformation zwei wesentliche Ziele verfolgt:

- **Verbesserung des Kartenverständnisses beim Nutzer**

  Die Nutzer satellitengestützter Kriseninformation haben einen sehr unterschiedlichen Hintergrund. Die Darstellungen in einer Krisenkarte müssen demnach möglichst intuitiv für eine möglichst große Schnittmenge möglicher Nutzer verständlich sein. Die Symbolik ist dementsprechend auszuwählen. Dies schließt die Verwendung spezieller taktischer Zeichen aus. Darüber hinaus sind alle notwendigen Informationen wie Disclaimer, Interpretationstext, Titel, Maßstab etc

- **Zeitliche Optimierung des Kartenerstellungsprozesses**

  Die Gestaltung einer thematischen Karte (Symbologie, Legendgestaltung …) ist ein zeitlich sehr aufwändiger Prozess. Insbesondere bei Notfallkartierungen ist jedoch gerade die zeitliche Komponente als besonders kritisch anzusehen. Die Standardisierung der Kartenerstellung bietet hier viel Potential zur Vereinfachung und zeitlichen Optimierung. Sind Standards gesetzt, können eine Vielzahl von vorbereitenden Arbeiten geleistet werden, die den Kartenproduktionsprozess stark vereinfachen und/oder beschleunigen. Dies ist z.B. durch die Vordefinition der Symbologie aber auch durch die Vorgestaltung von Legendeninformationen realisierbar.

In dem entwickelten **Leitfaden** werden folgende Handlungsfelder aufgezeigt, mit denen die oben genannten Ziele erreicht werden können:

Die Verwendung **standardisierter Symbole** hat für eine Standardisierung der thematischen Kartene¬stellung eine große Bedeutung. Sie ermöglichen den Nutzern einen Wiedererkennungseffekt und der Kartenerstellungsprozess kann durch die standardisierten Symbole beschleunigt werden. Sind die voraussichtlich darzustellenden Daten bekannt, können für diese entsprechende Symbole vordefiniert werden und als Auswahl zur Verfügung gestellt werden. Hierbei kann es notwendig sein, für ein und dasselbe Symbol mehrere Varianten vorzuhalten, um auf entsprechende Unterschiede der Hintergrundbilder (hell oder dunkel) reagieren zu können. Es wurden solche Symbolpaletten vordefiniert, in Stylesheets abgespeichert und stehen im ZKI zur Kartenproduktion - verschiedene Varianten auch in Form von so genannten Layerfiles - zur Verfügung.

Ein sehr aufwändiger Arbeitsprozess bei der Erstellung thematischer Karten ist das **Design des Kartenlayout**. Analysiert man den Kartenerstellungsprozess, so wird deutlich, dass bestimmte Inhalte einer thematischen Karte jedoch in allen Karten eines Produzenten gleich sind oder sich ähneln. Diese Ähnlichkeit kann sich z.B. im gleichen Format oder der gleichen Position bestimmter Elemente widerspiegeln. Diese Ähnlichkeit bietet vielfältige Möglichkeiten für eine Standardisierung. Es wurden für die Standardisierung der thematischen Kartenerstellung verschiedene Kartenvorlagen für bestimmte Kartenlayouts erstellt. In diesen Kartenvorlagen sind für verschiedene Layouts (z.B. projektspezifische und/oder formatspezifisch (hoch, quer, DIN A4, DIN A3) bestimmte Voreinstellungen getroffen und benötigte Elemente z.B. Logos integriert. Die folgende Abbildung zeigt eine mit einer DeSecure Vorlage erstellte Karte der im Rahmen von DeSecure auf Basis von RapidEye Daten durchgeführten Brandflächenkartierung in Griechenland 2009. Die hier verwendete Kartenvorlage beinhaltet bereits alle Voreinstellungen bzgl. Lage und Format bestimmter Layout Komponenten wie z.B. Logos, Überschrift, Kartenraster etc. Nach Einladung der thematischen Information und der Hintergrundbilder muss dann das Kartenlayout nur noch angepasst werden. Hierzu gehören z.B. eine Editierung des Legendentextes und des Kartentitels.

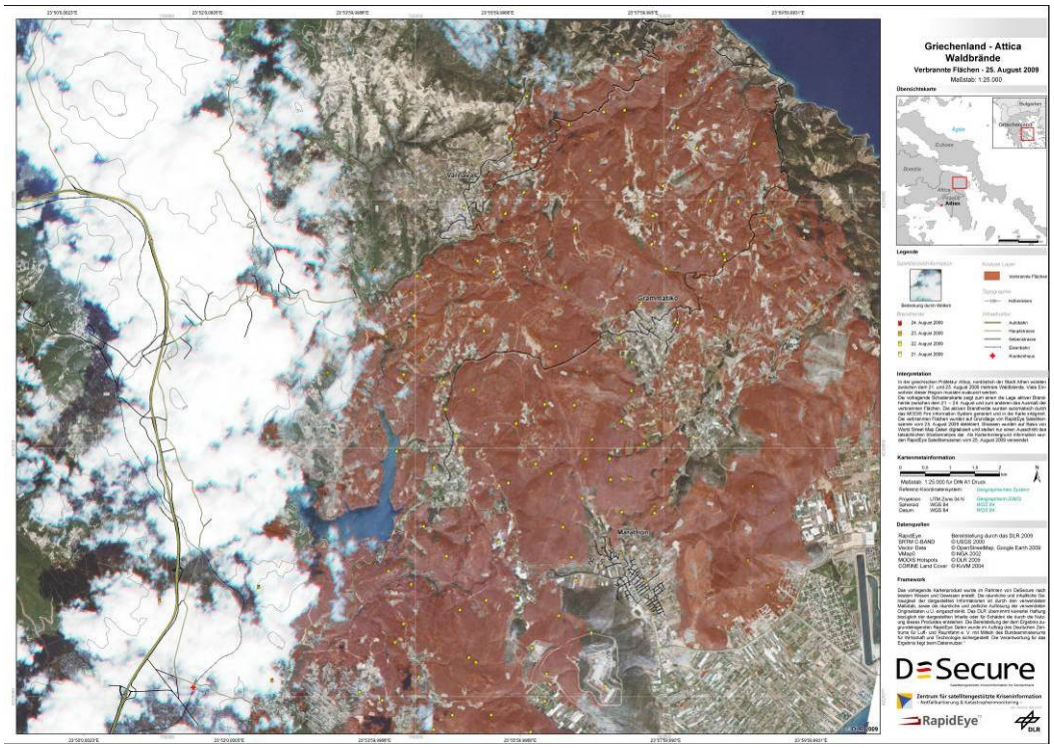

Abbildung 34: Die Darstellung der Symbole erfordert eine Abspeicherung der benötigten Information. Dies kann auf verschiedene Art- und Weise erfolgen: Der einfachste Weg ist die Abspeicherung einfacher Geometrien, denen keine weitere Information anheftet. Diesen Geometrien kann dann ein entsprechendes Symbol zugewiesen werden.

Für zukünftige Weiterentwicklungen der Standardisierung der thematischen Kartenerstellung hat die Implementierung eines Datenmodells eine herausragende Bedeutung. In einem Datenmodell erfolgt die Abbildung der thematischen Information in einer bestimmten Struktur und mit oft vordefinierten Auswahlwerten. Ist diese Struktur sowie die vordefinierten Werte bekannt, bieten sich weitere Möglichkeiten für eine Standardisierung der Kartenerstellung. Sind die Struktur der Daten sowie die möglichen Informationen bekannt, können bereits im Vorfeld – auch ohne tatsächlich vorliegende Daten - komplette Symbologien und / oder Varianten für Symbologien (z.B. für hellen, dunklen Hintergrund) sowie Beschriftungen und andere Einstellungen (z.B. maßstabsabhängige Darstellung etc.) für verschiedene Themenbereiche vordefiniert werden. Sind diese Themen vordefiniert, ist es wiederum möglich, die oben genannten Kartenvorlagen um standardisierte Legendeneinträge, z.B. für Thema Flutkartierung, standardmäßig vorzubereiten. Ein hierfür benötigtes Datenmodel wird derzeit im Kontext der GMES emergency response services auf europäische Ebene implementiert und ist im Rahmen von DeSecure für das ZKI für zukünftige Weiterentwicklungen bereits berücksichtigt und bereits in der Testphase.

Im Bereich der Standardisierung der Bereitstellung von satellitengestützten Kriseninformationen konnten in der DeSecure Laufzeit demnach wichtige Weiterentwicklungen erfolgen. Vorhandene taktische Zeichen wurden recherchiert und für die operationelle Integration in Notfallkartierungsprodukte des ZKI aufbereitet und die Integration erfolgreich getestet. Für die Standardisierung der Kartenerstellung wurde ein Leitfaden entwickelt und wesentliche Aspekte bereits in die Prozesse des ZKI implementiert.

5.2 Optimierung und Weiterentwicklung der digitalen Bereitstellung

Der Nutzer wünscht einen möglichst raschen Zugriff auf satellitengestützte Kriseninformationen, auch um rasch verändernde Vorgänge darstellbar zu machen. Neben der bereits etablierten Kartenbereitstellung kann der Zugriff auf die Information auch digital auf zwei weitere Arten erfolgen: Einerseits ist es möglich, das der Nutzer über eine bestimmte Schnittstelle (Services) direkt und zentral auf die Daten zugreift, um diese dann z.B. in eigene Systeme einzubinden. Andererseits können die Informationen dem Nutzer in interaktiven Kartenanwendungen (Web-GIS) bereitgestellt werden. Beide Varianten bieten dem Nutzer die Möglichkeit die krisenrelevante Information interaktiv zu explorieren und so den größtmöglichen Informationsgewinn herauszuziehen. Eine weitere speziell auf Lage- und Einsatzzentren abzielende Lösung ist in der Bereiststellung von interaktiven 3D Nah Echtzeit Szenarien. Diese 3D Szenarien stellen einerseits wesentlich höhere Anforderungen an die technische Ausstattung, ermöglichen den Nutzern aber bei einfacher Bedienbarkeit eine durchaus intuitiveren Zugang zu der dargebotenen Information. Die in diesen Bereichen erzielten Ergebnisse werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

5.2.1 INTERAKTIVE GEOVISUALISIERUNG – „3D RAPID MAPPING“

Zusätzlich zu gedruckten oder digitalen Karten sowie Web-Map-Services sollen interaktive dreidimensionale Geländedarstellungen für Briefing-, Planungs- und Koordinationsaufgaben erschlossen werden. Ziel ist es hierbei, durch Interaktive Geovisualisierung Kriseneinsatzkräften eine intuitive Orientierung zu bieten und bessere Planungsgrundlage zur Verfügung zu stellen.

Die realitätsnahe Darstellung des Geländes kann Einsatzkräften bereits vor ihrem Abflug ein genaues, unmittelbar verständliches Bild ihres Einsatzortes vermitteln und vereinfacht so die Einsatzplanung. Die Integration aktueller Daten, wie beispielsweise die Darstellung von GPS-Positionen von Einsatzkräften, erlaubt die Verwendung der Geländedarstellungen für Koordinationszwecke im Kriseneinsatzzentrum.

Die Verwendung eines solchen Visualisierungswerkzeugs im Rahmen zeitkritischer Einsätze stellt besondere Anforderungen. Diese Anforderungen - wie zum Beispiel: Schnelligkeit bei der Produktion des 3D Szenarios, Aktualität, Zuverlässigkeit und einfache Bedienbarkeit – müssen erfüllt werden, um die professionelle Nutzung dreidimensionaler Geländedarstellun-

gen im Krisenkontext zu ermöglichen. Zudem muss die neue virtuelle Umgebung weitgehend intuitiv sein und mit bekannten Zeichen arbeiten, damit die Einarbeitungszeit möglichst gering ist und die Nutzung des Systems eine echte Unterstützung in Krisensituationen ist.

Bislang verfügbare Visualisierungslösungen werden diesen Ansprüchen nicht gerecht. Die Erstellung interaktiv analysierbarer, realitätsnaher Geländemodelle ist derzeit noch sehr zeit- und personalintensiv. Ziel war daher, die Entwicklung eines Konzepts für eine Prozesskette zur schnellen, weitgehend automatisierten Generierung 3-dimensionaler Geländedarstellungen.

Zu diesem Zweck wurde zunächst ein Anforderungsprofil der potenziellen Nutzer eines 3D Echtzeitsysteme erstellt. Daraus ging eine Entscheidungsmatrix für die Auswahl eines 3D Krisenvisualisierungssystems hervor. Anschließend wurden im Rahmen einer Marktanalyse existierende Softwarelösungen untersucht, um danach im Rahmen einer Evaluation Softwarepakte auf Basis der erstellten Entscheidungsmatrix auszuwählen und zu testen. Während der Evaluation wurden verschiedene Softwarepakte u. a. Praxistests im Rahmen von Krisenübungen (GNEX, AMC, …) unterzogen. Die daraus entstanden Handlungsanweisungen und Prozesse, die zu einem ersten Konzept einer Prozesskette kombiniert wurden. Die speziellen Nutzeranforderungen können in einer Entscheidungsmatrix in vier Bereiche gegliedert werden und bilden sich in der folgenden Abbildung den vier Dimensionen Features, Capability, Quality und Functions ab.

Auf Basis der in der Entscheidungsmatrix ermittelten detaillierten Auswahlkriterien wurde eine der zurzeit leistungsfähigsten kommerziellen High-End Anwendungen im Echtzeit 3D Bereich beschafft (Skyline Globe Enterprise). Die Software bietet unter anderem Geocollaboration-Sessions an, die gleichzeitige interaktive Nutzung und Kommunikation mehrerer Nutzer in einem Szenario. Das beschaffte System wurde anhand unterschiedlicher, realistischer Krisenszenarien getestet und überarbeitet.

Zum Aufbau eines ersten 3D- Testszenarios wurden Daten des Erdbebens in Pakistan 2005 aus dem Datenpool des DeSecure Projekts genutzt. Ergänzt wurden diese um zusätzliche eigene, bereits vorliegende bzw. frei verfügbare Satellitendaten. Ein weiterer Test der „Echtzeit“-Datenintegration wurde anhand eines fiktiven Erdbebens auf Zypern unter realistischen Bedingungen im Rahmen des Assessment Mission Course (AMC) 2009 durchgeführt. Des Weiteren wurden in einem dritten Szenario Daten der Okavango-Flut in Namibia 2009 aus dem Datenszenario von DeSecure in ein weiteres Echtzeit-3D-Notfallmodell integriert.

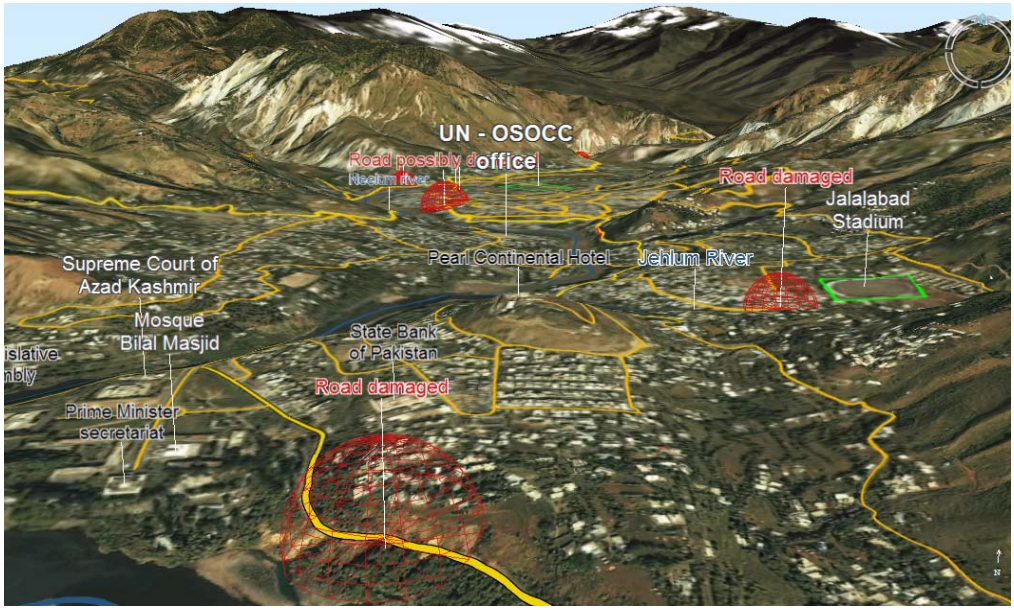

Abbildung 35: Die vier Bewertungsdimensionen

Um die Nutzung von Skyline Globe für den potenziellen Nutzer so einfach, intuitiv und übersichtlich wie möglich zu gestalten waren Veränderungen an der Benutzeroberfläche notwendig. Dafür wurden zusätzliche Tools programmiert und in die Software integriert sowie eine direkte Anbindung an GoogleMaps programmiert. Ziel war es, die Einstiegshürden gering zu halten und potenziellen Nutzern eine intuitive, möglichst leicht erlernbare Umgebung zur Verfügung zu stellen.

Die in DeSecure entwickelte Prozesskette gliedert sich in vier Hauptphasen, die in diverse manuelle und automatisierbare Einzelschritte unterteilt sind. Nach dieser Vorgabe werden zunächst der Aufbau und anschließend das Update der 3D Szenarien ablaufen:

- **Phase0: „Vorverarbeitung**“:
  Dauer der Bearbeitung, nach Datenlage ab Krisenbeginn ca. 0 – 3 Std. , ggf. bis Krisenende bei permanent aktualisierten Daten
  Sichtung, Anpassung an die Anforderungen der jeweiligen 3D Visualisierungssoftware und ggf. weitere Recherche von Geodaten, d. h. Transformation in einheitliches Geokoordinatensystem, einheitliches Dateiformat, manuelle Farbanpassungen
- **Phase1: „Basiswelt“** :
  Dauer der Bearbeitung, nach Datenlage ab Krisenbeginn ca. 1 – 6 Std.
  Nur erforderliche, minimale Bildbearbeitung, z. B.: farbliche Anpassung der Texturen, Übergänge an Bild-/ DEM-Grenzen → Ziel: Schnelle Verfügbarkeit z.B. vor Abflug der Teams ins Krisengebiet
- **Phase2: „3D Notfallmodell“** :
  Dauer der Bearbeitung, nach Datenlage im Anschluss an Phase1 bis Krisenende
  Import von Vektordaten, ggf. weitere Anpassung der Fernerkundungsdaten, Einbindung von Archivfotos, neu erstellten, wichtigen 3D Objekte z. B. Threatdomes, d. h. optisch auffälligen Markierungen von Gefahrenbereichen, Zusatzinfos (aus dem Feld, Internet u. ä.)
- **Phase 3: „Aktualisierung“** :
  Dauer der Bearbeitung, nach Datenlage ab Krisenbeginn im Anschluss an Phase2 bis Krisenende
  Import abgeleiteter Produkte z. B. Klassifikationen, Import von Vor-Ort-Daten (GPS Koordinaten von Teams, Fotos, Formulare, …), Erstellung detaillierter 3D Objekte und Update von Fernerkundungsdaten

Eine generische Version des Konzepts für eine Prozesskette, soll die spätere Übertragung auf verschiedene Softwarepakte ermöglichen. Ziel war es hier, vor allem Arbeitsschritte auf automatisierbare und möglichst freie Open Source Software Tools umzustellen. Sämtliche Schritte sind ebenfalls mit kommerziellen Softwarepaketen wie ERDAS Imagine oder PCI Geomatica ausgearbeitet und getestet worden.

Die so entstandene Prozesskette wurde hinsichtlich der manuellen Bearbeitungsschritte überarbeitet und überprüft, um diese weitgehend zu minimieren. Dennoch sind auch manuelle Schritte nach wie vor notwendig, um eine hohe optische Qualität des 3D Szenarios zu gewährleisten und mögliche Fehlentscheidungen aufgrund unzureichend bearbeiteter Geodaten weitgehend zu reduzieren.

Interaktive Nah Echtzeit 3D Szenarien können den Nutzer durch einen intuitiven Zugang zu komplexen Informationen bei den vielfältigen Entscheidungsprozessen während einer Krise unterstützen. Das entwickelte Konzept für eine Prozesskette ist die Basis, um zukünftig zeitnah interaktive 3D Szenarien schon während einer Krise zur Verfügung zu stellen und die Planungssicherheit zu erhöhen. Die nächsten Schritte müssen die Umsetzung dieser Prozesskette für unterschiedliche 3D Softwarelösungen beinhalten.

5.2.2 Interaktive Kartenanwendung und Direktzugriff auf Daten

Eine Analyse der Nutzeranforderungen an eine interaktive Kartenanwendung für die Bereitstellung satellitengestützter Kriseninformation hat gezeigt, dass die Nutzer eine performante Anwendung benötigen, die Werkzeuge eine interaktive Exploration und Navigation der dargebotenen Information bereitstellt (verschieben, zoomen, ein- ausblenden von Karteninhalten, Übersichtskarte). Eine Besonderheit liegt in der Anforderung an eine schnelle Bereitstellung: Während in z.B. kommunalen Standard Web-Mapping Anwendungen die Bereitstellung i.d.R. einmalig erfolgt und eine mehrwöchige Entwicklungszeit benötigt, ist bei Notfallkartierungen der Bedarf einer Bereitstellung mehrerer Anwendungen pro Woche ein durchaus rea-

listisches Szenario, insbesondere dann wenn die Bereitstellung nutzerspezifischer Anwendungen gewünscht ist. Für die Veröffentlichung einer interaktiven Kartenanwendung steht im Kontext einer Notfallkartierung ein Zeitfenster von ca. 3 – 4 h zur Verfügung. Daraus resultieren folgende Anforderungen von Seiten eines Service Bereitstellers:

- Schnelle und einfache Erstellung von Web Services
- Schnelle und einfache Bereitstellung interaktiver Kartenanwendungen im Zuge einer Notfallkartierung
- Einbindung in den Prozess einer Notfallkartierung am Beispiel ZKI
- Gute Performance der Services / Applikation
- Anpassung an das Corporate Design des Service Bereitstellers (hier ZKI)
- Bereitstellung der Applikation über ein sog. Content Management System (CMS) (Konfiguration, Einbindung)

Auf Basis dieser Anforderungen der Nutzer- und Service-Bereitsteller sowie einer Analyse der technischen und personellen Rahmenbedingungen wurde folgende Lösung entwickelt:

- ArcGIS Server Technologie für Serviceerstellung
- Flash Client (angepasste Version des ESRI Sample Flex Viewer)
- Konfiguration über CMS Drupal

Die Verwendung von ArcGIS Server Technologie gewährleistet eine nahtlose Einbindung in die Notfallkartierungsprozesse am ZKI. Es können die Daten, die für die Erstellung von Karten aufbereitet wurden schnell und einfach in Form verschiedener Web Services (ESRI Map Services sowie OGC konforme Services WMS, WFS, WCS) sowie als kml (Google-Earth Format) über das Web verfügbar gemacht werden. Hierbei werden alle Einstellungen z.B. Symbologie, Ausdehnung oder maßstabsabhängige Darstellung direkt aus dem Kartenerstellungsprozess übernommen. Die so erstellten Services können für einen direkten Zugriff auf die Daten oder für die Darstellung in interaktiven Kartenanwendungen verwendet werden. Die operationelle Serviceerstellung ist damit ideal in den Prozess der Notfallkartierung des ZKI integrierbar. Darüber hinaus ist mit der verwendeten Technologie ein nahtloser Zugriff auf die aus dem GMES Emergency Response Service (SAFER Projekt) vorgegebenen Formate gewährleistet. Für eine hohe Leistungsfähigkeit der über Services bereitgestellten Daten bietet die Technologie eine einfach zu bedienende Möglichkeit des sog. „cachen“. Beim „cachen“ werden die Bildkacheln im Voraus oder nach Bedarf vorgerechnet und können so bei folgenden Aufrufen des jeweiligen Bildausschnittes dem Nutzer schnell über das Web bereitgestellt werden. Hierdurch wird eine hohe Geschwindigkeit der Services auch bei einer Bereitstellung großer Datenmengen (Satellitenszenen) gewährleistet.

Die weiteren ausgewählten und aufeinander abgestimmten Softwarekomponenten (ESRI Sample Viewer und CMS Drupal) erfüllen zum Einen die funktionalen Anforderungen aus Nutzersicht (z.B. einfache Bedienbarkeit') als auch zum Anderen eine einfache und schnelle Konfiguration der Web Mapping Anwendungen und eine entsprechende Rechtevergabe (wer darf auf diese Daten zugreifen). Der Ablauf zur Datenbereitstellung über Services und die Veröffentlichung (nutzerspezifisch konfigurierter) Webanwendungen erfolgt mit dieser Lösung nach folgendem Prinzip (vgl. hierzu auch folgende Abbildung):

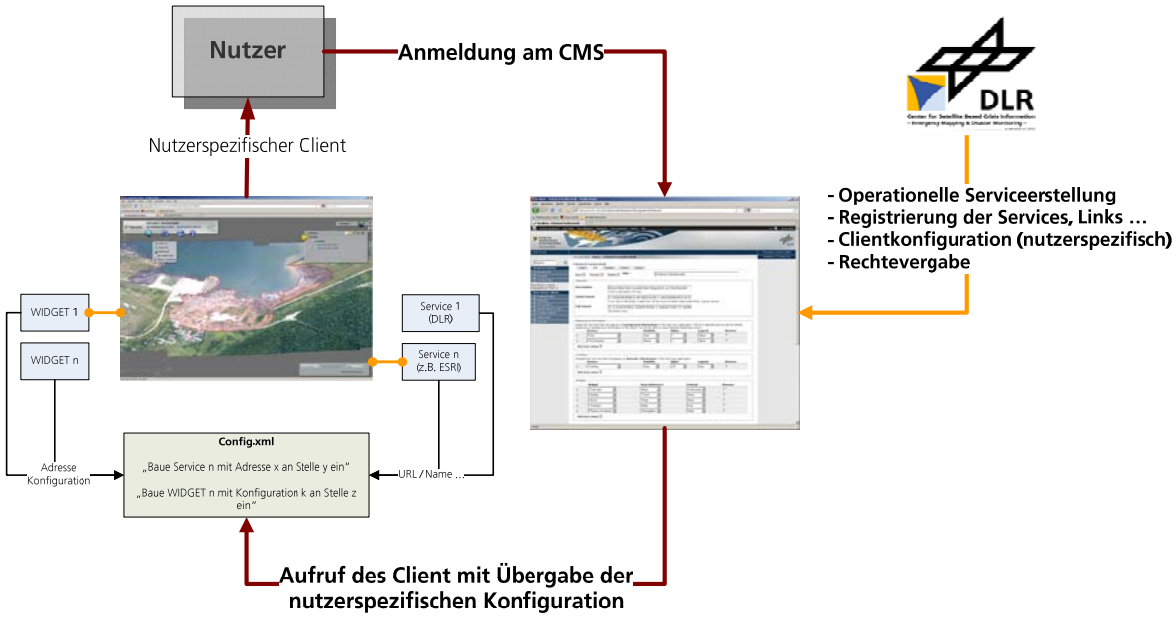

Abbildung 36 Prinzip der Datenbereitstellung über Services und der Veröffentlichung nutzerspezifisch konfigurierter Webanwendungen

Der Serviceprovider übernimmt aus der Kartenproduktion das/die Mapdokument(e) und erstellt aus diesen unter Verwendung von ArcGIS Server Services. Die erstellten Services werden im CMS registriert und Zugriffsrechte vergeben. Unter Verwendung der registrierten Services kann ein beliebiger Web Client konfiguriert werden und Nutzerrechte für diesen vergeben werden. Meldet sich ein bestimmter Nutzer an erhält er nur Zugriff auf die für Ihn frei geschalteten Services und WebClienten. Beispiele für interaktive Kartenanwendungen sind über die DeSecure Homepage (http://www.desecure.info/desecure_webclient_de.html) erreichbar. Für eine verbesserte Zugänglichkeit ist bei diesen interaktiven Kartenanwendungen keine Anmeldung an dem CMS notwendig.

Abbildung 37: Screenshot des DeSecure Webclients für die Flut in Namibia, Caprivi Region 2009 (Ergebnisse des gemeinsamen Datenszenarios DeSecure).

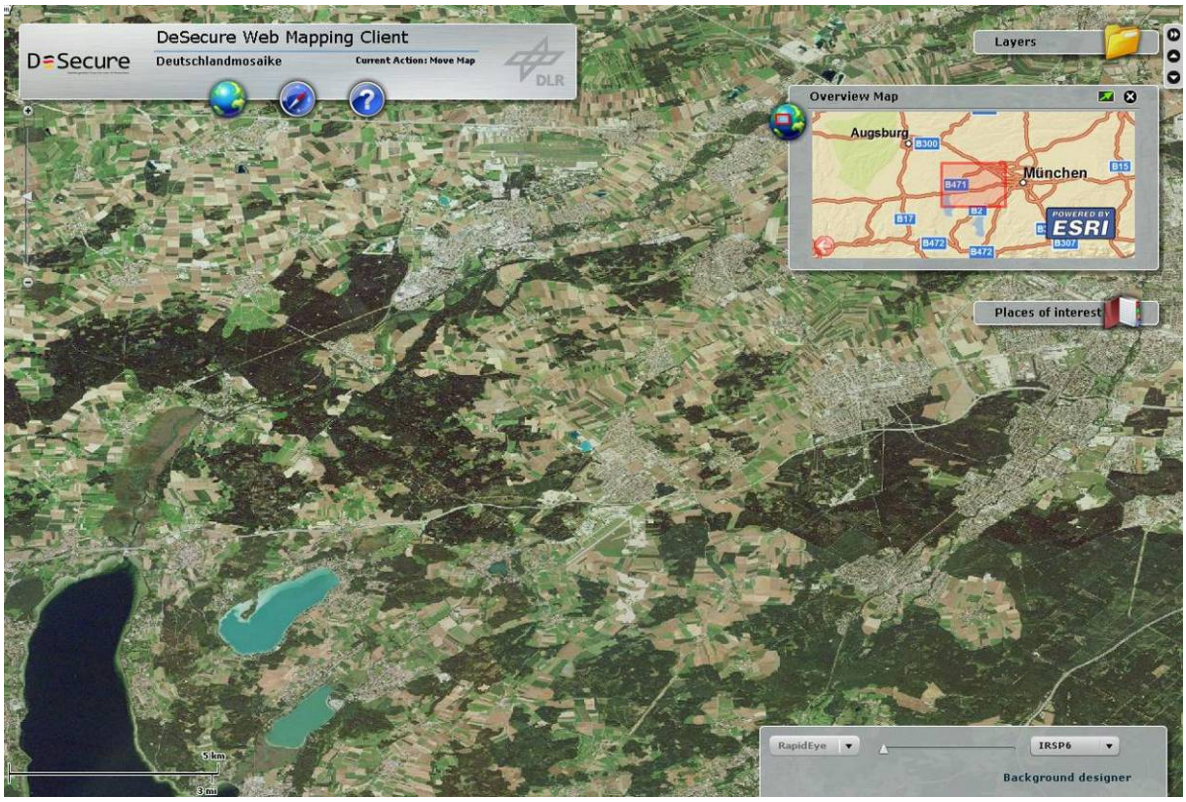

Abbildung 38: Screenshot des DeSecure Webclients für die Deutschlandmosaike

Im Rahmen von DeSecure konnte damit die operationelle Bereitstellung satellitenbasierter Kriseninformation sowohl über interaktive Kartenanwendungen als auch der webbasierte Direktzugriff auf zugrunde liegenden Geodaten in die Prozesse des ZKI implementiert werden.

5.3 Verbesserung der Auffindbarkeit der Kriseninformation

Neben bereits etablierten direkten Kommunikations- und Bereitstellungswegen (direkter Datenversand oder Versand der Information wo bestimmte Informationen auffindbar sind) nimmt die Bedeutung von Geoportalen stetig zu. Geoportale (z.B. GeoPortal.Bund, INSPIRE) bieten dem Nutzer einen zentralen Zugangspunkt (in der Regel Online Portal) an dem er/sie die Möglichkeit hat Geodatenprodukte nach bestimmten Kriterien (Attribute, räumliche Ausdehnung, zeitliche Aspekte) zu suchen. Zu jedem gefundenen Geodatenprodukt ist darüber hinaus eine Information zu möglichen Bezugswegen hinterlegt. Dies kann eine URL, eine Downloadadresse oder bei z.B. lizenzierten Produkten auch eine Kontaktinformation sein. Vorraussetzung für die Auffindbarkeit von Geodatenprodukten – wie z.B. Krisenprodukten – ist die Registrierung entsprechender Metadaten in solchen Geoportaken. Metadaten beinhalten Daten über Daten. Dies umfasst u.a. eine Kurzbeschreibung des Inhaltes, Aktualität, Bezugswege sowie Formate und andere Informationen. Im Rahmen von DeSecure wurde konzeptionell und praktisch an einer Verbesserung der Verfügbarkeit von Informationen über Krisenprodukte gearbeitet.

Im Rahmen von DeSecure wurde auf Basis einer Metadatenmanagement Software des Projektpartners ProDV die Möglichkeiten für die Erstellung von Metadaten und die Anbindung der Information an das Geoportal Bund konzipiert und getestet. Zusätzlich zu den Geodaten werden Metadaten, d.h. Daten über Geodaten und Geodatendiensten bereitgestellt. Diese dienen der Recherche nach Geodaten und Geodatendiensten und können auch zur Dokumentation der Datenqualität verwendet werden. Diese werden in XML-basierten Standardformaten deutschland- und nach INSPIRE auch europaweit bereitgestellt werden. Metadaten werden basierend auf dem OGC-Standard ISO AP 1.0 in der Geodatendateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) bereit gestellt.

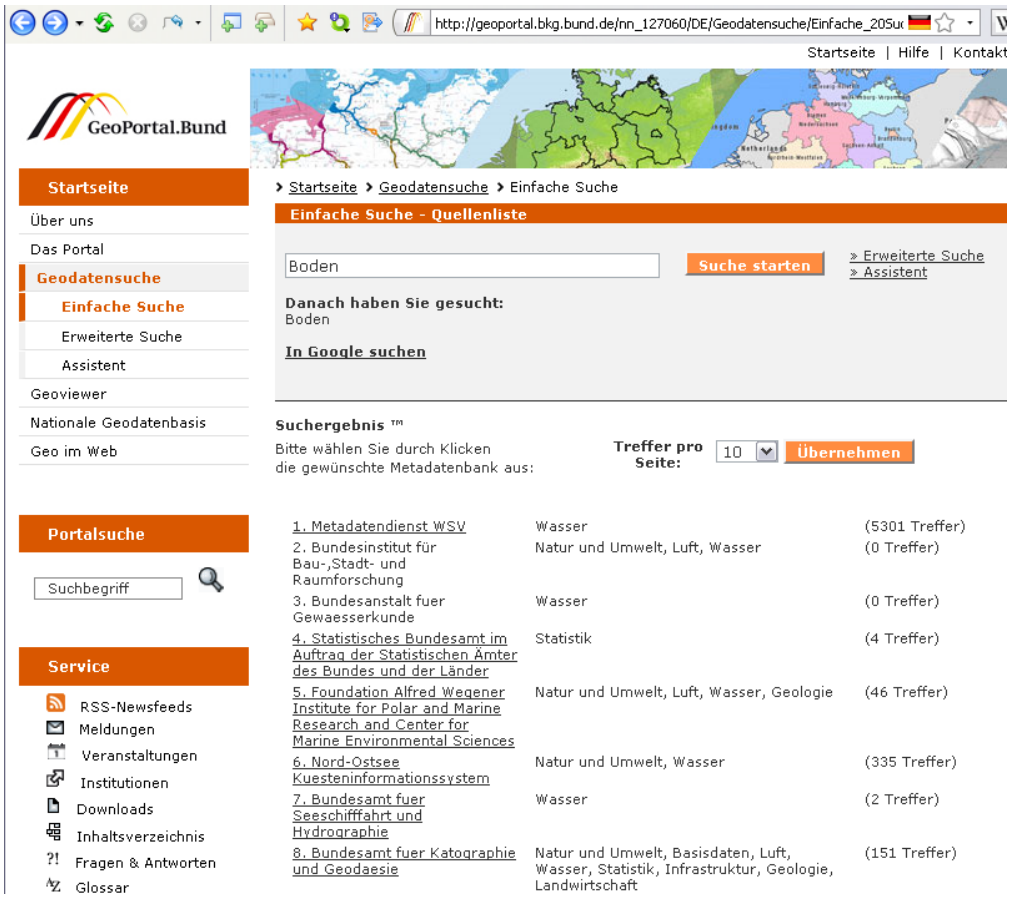

Abbildung 39: Metadatensuchmaschine des GeoPortal.Bund

Die Metadaten können nun über eine OGC Web-Schnittstelle (Catalogue Service Web Version 2.0.2) abgefragt werden. Abbildung 39 zeigt den zentralen, nationalen Knotenpunkt zur Recherche von Metadaten in Deutschland: das GeoPortal.Bund. Hier werden unterschiedliche Kataloge online abgefragt und dem Nutzer präsentiert. Nutzer bekommen so weltweit und standardisiert Zugriff auf die Beschreibungen von vorhandenen Geodaten und -diensten.

Das WebService Management System wurde hierfür realisiert und hatte die Integration von Geodaten in die standardisierte IT-Umgebung zum Ziel. Geodaten sollen gemeinsam mit bereits vorhandenen alphanumerischen Daten genutzt werden können und so letztlich einen markanten Mehrwert generieren. Standardkonformität und Interoperabilität sind hierbei die Maximen. Der hierfür notwendige Prozess (z.B. Import von Geodaten in lokale Datenbank, Registrierung) wurde exemplarisch für das Projekt mit Geodaten aus der Elbeflut 2006 erfolgreich durchgeführt. Nach einer Registrierung können so alle lokal vorliegenden Daten als Service standardkonform zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus wurde eine Webrecherche nach frei verfügbaren Geodaten-Web-Services im Untersuchungsgebiet zur Nutzung dieser für krisenbasierte Anwendungen durchgeführt. Frei verfügbare Geodaten-Dienste können als Standardkarten konfiguriert und über das Web Service Management jederzeit einem Bearbeiter zur Verfügung gestellt werden und bieten somit eine weitere Informationsquelle. Das Ergebnis der Recherche liefert eine nur sehr kleine Anzahl geeigneter freier Dienste für das Untersuchungsgebiet. Es wurden ausschließlich überregionale WebMapServices identifiziert. Allerdings zeigt die Entwicklung der letzten Jahre, dass immer mehr frei verfügbare Geodaten-Webservices mit höherer Qualität zur Verfügung gestellt werden. Diese Entwicklung gilt es zu beobachten bzw. aufzugreifen und in den Prozess der Krisenkartierung zu integrieren, um die Informationstiefe/-breite aufzuwerten.

Zusammenfassend dargestellt konnten somit Wege aufgezeigt werden, mit denen eine Verbesserung der Auffindbarkeit von bereitgestellten Kriseninformationen möglich ist und entsprechende Lösungen wurden testweise umgesetzt.

5.4 Erstellung von Satelliten-Referenzdatensätzen für die BRD

Für eine optimale satellitenbasierte Analyse der Auswirkungen von Naturkatastrophen oder technischen Unfällen zu ermöglichen, werden aktuelle Referenzdatensätze zum Vergleich Vorher-Nachher benötigt. Darüber hinaus können solche Referenzdatensätze im Krisenfall als Grundlage für eine erste Orientierung, z.B. für die Einsatzkräfteplanung dienen. In DeSecure wurden zwei Satelliten-Referenzdatensätze für den Bereich der BRD erstellt. Hierfür wurde ein Deutschlandmosaik von RapidEye Daten sowie eines von IRS-P6 Satellitendaten erstellt. Diese Deutschlandmosaike wurden am ZKI als hoch performante Services aufbereitet und stehen zum Teil für die Krisenkartierungen am ZKI als Referenzdatensätze zur Verfügung. Im Folgenden werden die Mosaike detaillierter beschrieben.

5.4.1 RapidEye Deutschlandmosaik

Für das Projektziel einer aktuellen Satellitenbildkarte Deutschlands zur Nutzung im Zentrum für Kriseninformation (ZKI) wurde eine flächendeckende und blattschnittfreie Kartierung aus RapidEye Bilddaten erstellt. Das RapidEye Deutschlandmosaik ist aus 750 RapidEye Satellitenszenen (25 x 25km) zusammengesetzt, die in den Sommermonaten 2009 aufgenommen wurden, und hat eine Dateigröße von 65 Gigabyte. Zur leichteren Nutzung wurde es in 36 Teilmosaike von jeweils ca. 2Gb Größe aufgespalten. Die erzeugten geländekorrigierten Bildkacheln decken jeweils ein Gebiet von 625 km² als fünf getrennte Grauwertbilder der Spektralkanäle Blau, Grün, Rot, RedEdge (Übergang Rot zu Nahinfrarot) und Nahinfrarot ab. Bei der Erstellung des Mosaikes wurde das Ziel verfolgt nur Satellitenszenen zu verwenden, in denen der Dunst/Wolkenanteil < 5% ist. Zur Erreichung dieses Kriteriums mussten Teilgebiete mehrfach aufgenommen und qualitätsgesichert werden. Am ZKI wurde dieses Deutschlandmosaik als sog. WebService aufbereitet (siehe Screenshot in folgender Abbildung).

Abbildung 40: Screenshot des RapidEye Deutschlandmosaikes

5.4.2 IRS-P6 DEUTSCHLANDMOSAIK

Für das IRS-P6 Deutschlandmosaik wurden ca. 230 Einzelszenen der LISS-3 / LISS-4 Sensoren des IRS-P6 Systems verwendet. Die verwendeten Szenen wurden vorwiegend in den Monaten April bis September der Jahre 2005 – 2007 aufgenommen. Diese wurden mittels Vorverarbeitung auf eine Auflösung von 5 m verbessert. Darüber hinaus wurde die Berechnung eines synthetischen Blaukanals eine Darstellung in „Naturfarben“ ermöglicht. Dieses Mosaik wurde ebenfalls am ZKI als WebService aufbereitet und steht am ZKI als Referenzdatensatz für Notfallkartierungen zur Verfügung. Die folgende Abbildung zeigt einen Screenshot des IRS-P6 Deutschlandmosaikes.

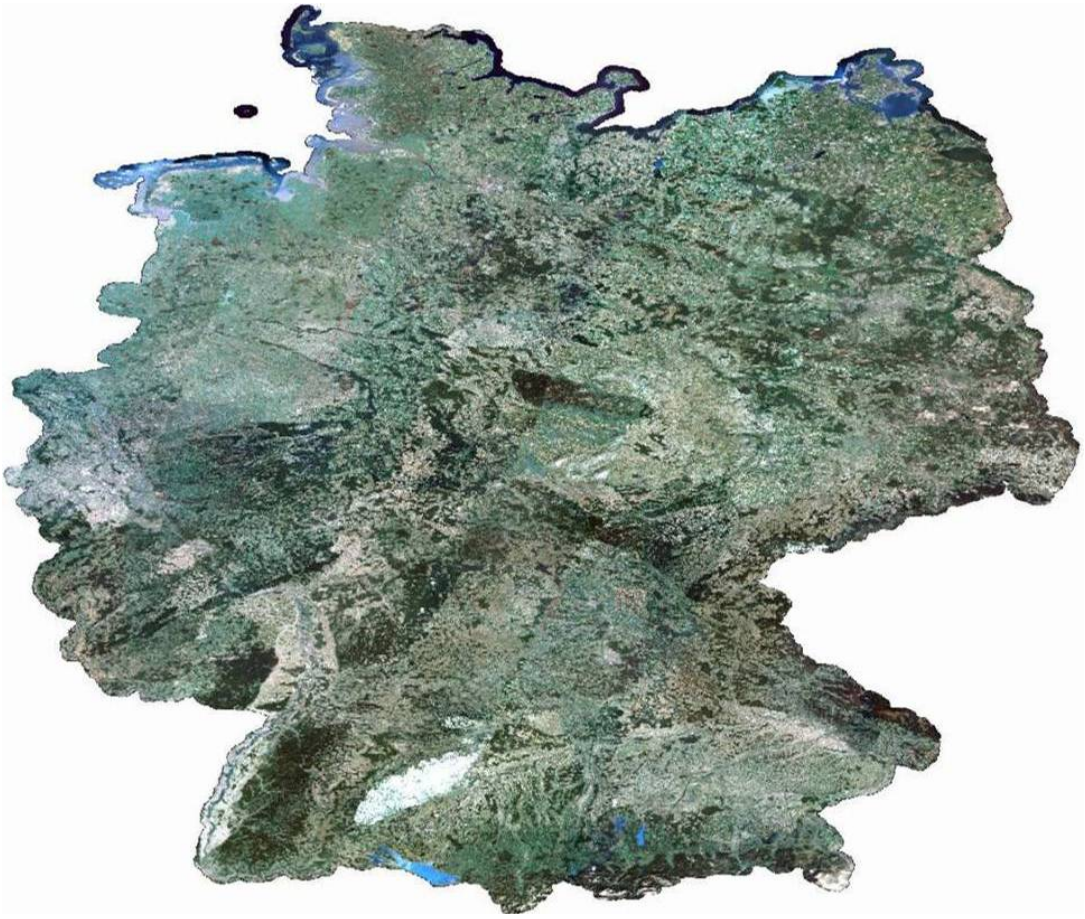

Abbildung 41: Screenshot des IRS-P6 Deutschlandmosaikes

Für die standardisierte und optimierte Bereitstellung satellitenbasierter Kriseninformation konnten in DeSecure zusammenfassend wichtige Weiterentwicklungen erzielt werden:

- Vorhandene taktische Zeichen wurden recherchiert und für die operationelle Integration in Notfallkartierungsprodukte des ZKI aufbereitet sowie deren Integration erfolgreich getestet. Für die Standardisierung der Kartenerstellung wurde ein Leitfaden entwickelt und wesentliche Aspekte in operativen Prozesse des ZKI implementiert.
- Die Möglichkeiten der Bereitstellung satellitenbasierter Kriseninformation wurden erweitert. U.a. wurden die Möglichkeiten zur 3D-Geovisualisierung analysiert, eine Prozesskette für die Erstellung von 3D Testszenarien entwickelt und beispielhaft implementiert. Darüber hinaus wurde die operationelle Bereitstellung satellitengestützter Kriseninformation über Web Anwendungen entwickelt und am ZKI implementiert.
- Es wurden Lösungen aufgezeigt, mit denen eine Verbesserung der Auffindbarkeit von bereitgestellten Kriseninformationen möglich ist und diese testweise umgesetzt.
- Außerdem wurden zwei Deutschlandmosaike erstellt, die als wichtige Referenzdatensätze für Notfallkartierungen des ZKI im bundesdeutschen Raum dienen können.

III. Fazit & Ausblick

Das übergeordnete Ziele des Verbundprojektes DeSecure war die Verbesserung der operativen Bereitstellung von Krisenlageinformationen durch eine Stärkung der in Deutschland verfügbaren methodisch-technischen Notfallkartierungskapazitäten. Durch das Projekt DeSecure wurden die Schnittstellen zwischen den Verbundpartnern optimiert und neue Methoden der Informationsgewinnung aus Satellitenbilddaten entwickelt, um schneller bessere Informationen ableiten und liefern zu können.

Hierfür wurden aufbauend auf einer Nutzeranalyse die Prozesse in bestehenden bundesdeutschen Notfallkartierungseinrichtungen, z.B. dem Zentrum für satellitengestützte Krisenintormation (ZKI) des DLR und der kommerziellen Dienstleister analysiert, Optimierungspotentiale identifiziert und für diese konzeptionelle und praktische Lösungswege erarbeitet und umgesetzt. Damit einhergehend war es Ziel, die operativen Notfallkartierungskapazitäten bei den Projektpartnern und insbesondere am ZKI zu steigern und weiterzuentwickeln. Darüber hinaus wurden mit der Methodenweiterentwicklung wichtige Arbeiten im Bereich der Grundlagenforschung durchgeführt. Zudem waren der Ausbau und die Festigung der Schnittstellen zwischen den international eingebundenen deutschen Akteuren ein wichtiger Aspekt. Hierdurch können die entsprechenden Kapazitäten gefestigt werden, die deutschen Interessen auf europäischer Ebene formuliert und in gebündelter Form in entsprechenden Initiativen auf europäischer Ebene (GMES) hereingebracht und vertreten werden.

In diesem Zusammenhang ist die Integration der deutschen Sensoren TerraSAR-X und RapidEye auch über den Bereich Notfall- und Krisenkartierung hinaus von großer Bedeutung. Mit dem Projekt DeSecure wurden die deutschen Sensoren RapidEye und TerraSAR-X in die Krisenkartierung eingebunden und damit neben den deutschen auch den europäischen Nutzern bekannt gemacht. Ferner wurden durch Universitäten und Industriepartner technisch operative Analysemethoden geschaffen, die die Anwendungsentwicklung und Vermarktung der Daten und Informationsprodukte auch über den Krisensektor hinaus stärken.

Die gesammelte Nutzerbasis bzw. die Nutzeranforderungen wurden allen Projektpartnern zur Verfügung gestellt und stellen eine gute Grundlage für die in DeSecure erzielten sowie weiteren Forderungen für zukünftige Entwicklungen dar. Wichtige Anforderungen betreffen z.B. die Themen Aktualität, Genauigkeit und Datenformate sowie vor allem Standards.

Die durch DeSecure durchgeführten Optimierungen haben u.a. eine wesentliche Beschleunigung des Prozesses der Satellitendatenakquisition, speziell für die Krisenkartierungsrelevante NRT-Kette, zur Folge und sich somit den hier gesammelten Benutzeranforderungen weiter angenähert. Dies führte dazu, dass sich die beiden Systeme RapidEye und TerraSAR-X bereits erfolgreich als GMES Contributing Missions (Satellitenmissionen, die Daten für GMES-Projekte bzw. –Dienste wie z.B. dem Emergency Response Service bereitstellen) qualifizieren konnten.

Im Bereich der Vorverarbeitung kann zusammenfassend festgehalten werden, dass im Rahmen von DeSecure die Verbesserungen erreicht werden konnten, die zu einer schnelleren und genaueren Vorprozessierung von Satellitenbilddaten beitragen, wie z.B. die Beschleunigung der Orthoprozessierung optischer Daten durch Implementierung einer Prozesskette für optische Daten oder die Entwicklung eines Konzeptes zur automatischen Registrierung von Radardaten und Anwendung auf Testdatensätze (ENVISAT / RADARSAT / ALOS-L / TerraSAR-X).

Für den Themenbereich der Informationsextraktion bleibt festzuhalten, dass die Ergebnisse gemessen am internationalen Stand der Technik sehr fortschrittlich sind. Dies wird auch dadurch belegt, dass die ISI-geführte Zeitschrift „Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation“ den Arbeiten des DeSesure-Verbundes ein Sonderheft widmet (Heft 06/10). Trotz der Fortschritte muss aber konstatiert werden, dass mit zunehmender Komplexität des Bildinhaltes v.a. die vollautomatisch abgeleiteten Ergebnisse weniger gut ausfallen als z.B. in offener Landschaft oder weniger dicht besiedelten Gebieten. Mit Blick auf einen möglichen operationellen Einsatz zeigen die Entwicklungen, dass nicht-semantische Aufgaben wie Vor-

verarbeitung der Bilder, Ko-Registrierung, 3D-Verfahren etc. hocheffizient und vollautomatisch gelöst werden können. Die volle Praxistauglichkeit von semantischen Aufgaben, wie die automatische Objektrekonstruktion, -charakterisierung oder die Veränderungsdetektion von Objekten, ist nur durch die Integration von semi-automatischen Komponenten innerhalb eines computergestützten Systems in Sicht ist. Doch auch hier ist noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf identifiziert. Besonderer Fokus sollte auf der Nutzerfreundlichkeit des Gesamtsystems liegen. Momentan können die entwickelten Systeme vorwiegend von Fachleuten bedient werden, doch eine adäquate Nutzerführung bei der Initialisierung, Prozessierung und Qualitätskontrolle muss noch erheblich verbessert werden, um volle Praxistauglichkeit zu erlangen.

Für die standardisierte und optimierte Bereitstellung satellitenbasierter Kriseninformation konnten in DeSecure ebenfalls wichtige Weiterentwicklungen erzielt werden, wie z.B. die Standardisierung von Produkten und Legenden sowie die Entwicklung und Implementierung von deutlich optimierten und erweiterten Möglichkeiten der Bereitstellung satellitenbasierter Kriseninformation (3D-Geovisualisierung, interaktiver Kartenanwendungen im Internet und Dissemination über GeoPortale). Überdies wurden zwei Deutschlandmosaike erstellt, die als wichtige Referenzdatensätze für Notfallkartierungen des ZKI im bundesdeutschen Raum dienen können.

Deutschland hat zurzeit eine führende internationale und europäische Rolle bei der Bereitstellung von satellitengestützten Kriseninformationen inne, sowohl als sog. Service Provider als auch als Satellitendatenliefererant. Um diese hohe Leistungsfähigkeit, insbesondere im Wettbewerb mit europäischen Partnern, mittel- bis langfristig zu erhalten, müssen kontinuierlich Verbesserungen im gesamten Krisenzyklus und vor allem an den Schnittstellen vorgenommen werden. Insbesondere ist dies notwendig, da operationelle Arbeit sehr hohe Ansprüche erfordert an: zu verwendende Methoden, Schnittstellen, Geschwindigkeit, Bedienbarkeit, Operationalisierung der entwickelten Methoden. Hier besteht weiterhin Optimierungspotential, welches Weiterentwicklungen im F&E-Bereich erfordert.

Darüber hinaus verändern sich Nutzeranforderungen. Zurzeit ist eine Professionalisierung auf Seiten der (potenziellen) Nutzer zu identifizieren. Diesen Anforderungen gerecht zu werden muss Ziel der Anbieter satellitengestützter Kriseninformation sein und erfordert einen steten Austausch mit den Nutzern. Weiterhin sind spezielle Anforderungen seitens (deutscher) polizeilicher Fragestellungen sowie privater Nutzer erkennbar, die bislang noch nicht vollständig erfasst sind. Daher ist eine weitere Förderung zu begrüßen, um die deutsche Nutzer- und Service Provider-Position zukünftig für die Bereiche und europäischen Kerndienste „Emergency Response“ sowie „Security“ zu stärken.

IV. Veröffentlichungen im Kontext DeSecure

Borg, E., Fichtelmann, B., Richter, R., Bachmann, M. (2008): Refinement of spatial resolution of multispectral remote sensing data, European Patent 1626256 B1.

Butenuth M, Hinz S (2008): Verification of Intact Road Networks in Satellite Imagery for Crises Applications. In: Eckhard, Seyfert (eds.), Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation 17, pp. 111-117.

Butenuth M (2009): Analysis of Road Networks after Flood Disasters using Multi-sensorial Remote Sensing Techniques. Proceedings of the 2nd International Conference on Earth Observation for Global Changes (EOGC), Chengdu, China, 25-29 May 2009, pp. 1398-1405.

Frey D, Butenuth M (2009a): Near-Realtime Classification of Intact Road Networks for Disaster Management using Multi-sensorial Spaceborne Imagery. Eckhard, Seyfert (eds.), Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation 18, pp. 69-77.

Frey D, Butenuth M (2009b): Classification System of GIS-Objects using Multi-Sensorial Imagery for Near-Realtime Disaster Management. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII-3W4, pp. 103-108.

Frey D, Butenuth M, Hinz S (2009): Automated Detection and Classification of Intact Road Networks in Multi-sensorial Spaceborne Imagery for Near-realtime Disaster Management. Proceedings of the IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS), Cape Town, Africa, in print.

Frey, D., Butenuth, M. (2010): Assessment System of GIS-Objects using Multi-Temporal Imagery for Near-Realtime Disaster Management. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Comm. VII, Part A, accepted.

Gähler, M., Voigt, S. (2008): DESECURE - Satellitengestützte Kriseninformation für Deutschland. In: Strobl, Josef; Blaschke, Thomas; Griesebner, Gerald [Hrsg.]: Beiträge zum 20. AGIT Symposium, Herbert Wichmann Verlag, S. 766 - 771, Angewandte Geoinformatik, Salzburg, 2008-07-02 - 2008-07 -04, ISBN 3-87907-464-8

Gähler, M., Mehl, H. (2009): Von Fernerkundungsdaten zur Kriseninformation. In: Europäische Akademie, Bad Neuenahr-Ahrweiler [Hrsg.]: Globale Fernerkundungssysteme und Sicherheit. Beiträge durch neue Sicherheitsdienstleistungen?, Graue Reihe, Globale Fernerkundungssysteme und Sicherheit. Beiträge durch neue Sicherheitsdienstleistungen?, Wien, 2008-10-09 (Vortrag; Veröffentlichung 2009)

Gähler, M., Voigt, S. (2008) DESECURE - Satellitengestützte Kriseninformation für Deutschland. In: 28. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V. Vom Erdapfel zum 3D-Modell , 17 , Seiten 119-126. 28. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF , 2008-04-23 - 2008-04-26 , Oldenburg. ISSN ISSN 0942-2870

Herrera-Cruz V., Koudogbo F., (2009): TerraSAR-X Rapid Mapping for Flood Events, Proceedings ISPRS 2009, Hannover

Hoja, D.; Schneider, M.; Müller, R.; Lehner, M.; Reinartz, P. (2008): Comparison of orthorectification methods suitable for rapid mapping using direct georeferencing and RPC for optical satellite data. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, S. 1617 - 1624, ISPRS Conference 2008, Peking (China), 2008-07-03 - 2008-07-11, ISSN 1682-1750

Koppe, W., Kiefl, N., Hennig, S., Janoth, J.: Validation of Pixel Location Accuracy of Orthorectified TerraSAR-X Products (EUSAR 2010)

Koppe, W.: Assessment of TerraSAR-X Orthorectified Imagery Based on Commonly Used DEMs as well as on TerraSAR-X Stereo DEM (FIG 2010)

Koppe, Wolfgang, Nadine Kiefl, Simon Hennig, Juergen Janoth: DEM Quality Impact on Pixel Location Accuracy of TerraSAR-X Orthorectified Imagery – An Assessment of Current Global DEMs and TerraSAR-X Stereo DEMs (IGARSS 2010)

Kersten, Jens; Gähler, Monika; Voigt, Stefan (2010): A Framework for fast and interactive Classification of optical VHR Satellite Imagery using Markov Random Fields. In: PFG 6/2010, Themenheft "DeSecure". E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.

Suri, Sahil; Reinartz, Peter (2008): Application of Generalized Partial Volume Estimation for Mutual Information based Registration of High Resolution SAR and Optical Imagery. In: [International Society of Information Fusion] [Hrsg.]: [11th International Conference on Information Fusion], Annual International Fusion Conference, [Hannover, Germany], [2008-06-30-2008-07-3]

Schmitt, A.; Wessel, B. & Roth, A. (2009): Curvelet-based Change Detection for man-made Objects from SAR Images. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Vol. III, S. 1059-1062. IGARSS 2009, 12.-17.07.2009, Kapstadt (Südafrika). ISBN 978-1-4244-3395-7.

Schmitt, A.; Wessel, B. & Roth, A. (2009): Curvelet Approach for SAR Image Denoising, Structure Enhancement, and Change Detection. In: IAPRS Proceedings of City Models, Roads and Traffic Conference (CMRT). Vol. 38, Part 3/W4, S. 151-156. CMRT 2009, 03.-04.09.2009, Paris (France). ISSN 1682-1777

Schmitt, A.; Wessel, B. & Roth, A. (2010): Introducing Partial Polarimetric Layers into a Curvelet-based Change Detection. Proceedings of EUSAR 2010, 07.-10.06.2010, Aachen (Deutschland). Zur Veröffentlichung eingereicht und akzeptiert.

Schmitt, A.; Wendleder, A.; Wessel, B. & Roth, A. (2010b): Comparison of Alternative Image Representations in the Context of SAR Change Detection. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IGARSS 2010, 25.-30.07.2010, Honolulu, Hawaii (USA). Zur Veröffentlichung eingereicht und akzeptiert.

Schmitt, A. (2010): Änderungserkennung in Radaraufnahmen - Die Aufbauarbeiten zum Münchner Oktoberfest. In: Urbane Fernerkundung - Vom Satellitenbild zur Planungspraxis. Taubenböck, H. & Dech, S. (eds.). Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. Wird in Kürze erscheinen.

Schmitt, A.; Wessel, B. & Roth, A. (2010). Curvelet-based SAR Image Enhancement. IEEE: Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Manuskript eingereicht am 13.05.2010.

Schwind, Peter (2008): Critical Evaluation of the SIFT Operator for Remote Sensing Imagery. Diplomarbeit, S. 83, FH Landshut (Informatik)

PFG Special Issue "DeSecure, Heft 6 2010 (in Bearbeitung)

Andresen, T. & Stracke, F. (2010): Disseminating satellite based crisis information – new approaches. In: PFG 6/2010, Themenheft "DeSecure". E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.

Frey, D., Butenuth, M. & Hinz, S. (2010): A modular system for road updating, refinement and classification from satellite images. In: PFG 6/2010, Themenheft "DeSecure". E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.

Herrera-Cruz V., Müller, M. & Weise, C. (2010): Flood extent mapping based on TerraSAR-X data. In: PFG 6/2010, Themenheft "DeSecure". E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.

Hoja, D, Schwinger, M., Wendleder, A., Löwe, P., Konstanski, H., Weichelt, H., Kiefl, N. & Janoth, J. (2010): Optimised Near–Real Time Data Acquisition and Pre-processing of Satel-

lite Data for Disaster Related Rapid Mapping. In: PFG 6/2010, Themenheft "DeSecure". E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.

Kersten, J.; Gähler, M. & Voigt, S. (2010): A General Framework for Fast and Interactive Classification of Optical VHR Satellite Imagery Using Hierarchical and Planar Markov Random Fields. In: PFG 6/2010, Themenheft "DeSecure". E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.

Schmitt, A., Wessel, B & Roth, A. (2010): Curvelet-based Change Detection on SAR Images for Natural Disaster Mapping. In: PFG 6/2010, Themenheft "DeSecure". E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart.

DeSecure Website

www.desecure.info